

Análisis de la viabilidad de la navegación polar mediante la previsión de largo alcance de movimiento de icebergs

Trabajo de Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona
Universidad Politécnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Eloy-Werner Edo Glosz

Dirigido por:
Francesc Xavier Martínez de Osés

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Barcelona, 11/02/2019

Departamento de Ciencias e Ingeniería Náutica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona

Resumen

Este trabajo de fin de grado pretende dar unas nociones básicas de la navegación polar y los agentes que intervienen en esta acción; proponiendo a su término una serie de recomendaciones y sugerencias para los interesados en esta disciplina. El trabajo abordará diferentes aspectos desde los agentes naturales como son la geografía, las condiciones del clima, factores estacionarios, principalmente; hasta los agentes geopolíticos, económicos y tecnológicos.

Además, pretende analizar el impacto de estos agentes haciendo especial hincapié en los factores tecnológicos y más concretamente en la tecnología SAR (Synthetic Automatic Radar), la cual permite un seguimiento y control del hielo marino e icebergs.

Para ello se ha dividido el trabajo en tres grandes apartados donde primero se introducirá y planteará la navegación polar y se enumerarán sus pros y contras reconocidos a primera vista. Además, dentro de esta primera parte se hablará de la navegación ártica y antártica, de las principales rutas que se navegan, los sectores comerciales que explotan estas rutas y las condiciones políticas que les afectan.

Y para concluir la primera parte se introducirá el Código Polar, que establece las directrices de seguridad que la IMO (de sus siglas en inglés International Maritime Organization) ha aprobado para la navegación en las áreas polares.

A continuación, se hará un análisis de los problemas que genera el hielo marino para la explotación de las rutas polares. A partir de aquí se investigarán los principales medios de ayuda a la navegación y tipos de buques que se emplean en estas zonas. Y finalmente un análisis más profundo del sistema SAR, anteriormente nombrado, donde se comentará su historia, funcionamiento e interacción con el hielo haciendo una breve introducción a las propiedades del hielo marino.

Y finalmente se consultará a expertos y compañías navieras sobre su opinión acerca de la navegación polar y el sistema SAR.

Con todo ello se pretende construir una idea de las bondades y disfunciones de la navegación polar haciendo especial atención a la navegación ártica que es la que tiene más interés a nivel socioeconómico. Y analizar si las tecnologías que se están introduciendo como el SAR pueden suponer un punto de inflexión en la navegación polar.

Abstract

This project aims to give some basic notions of polar navigation and the agents involved in this action; proposing a series of recommendations and suggestions for those interested in this discipline. The work will address different aspects from natural agents such as geography, climate conditions, stationary factors, mainly; even the geopolitical, economic and technological agents.

In addition, it aims to analyze the impact of these agents with special emphasis on technological factors and more specifically on SAR (Synthetic Automatic Radar) technology, which allows monitoring and control of sea ice and icebergs.

To this end, the work has been divided into three main sections where polar navigation will first be introduced and proposed and its pros and cons recognized at first sight will be listed. In addition, within this first part we will talk about the Arctic and Antarctic navigation, the main routes that are navigated, the commercial sectors that exploit these routes and the political conditions that affect them.

And to conclude the first part will be introduced the Polar Code, which establishes the safety guidelines that the IMO (of its acronym in International Maritime Organization) has approved for navigation in polar areas.

Next, an analysis of the problems generated by sea ice for the exploitation of polar routes will be made. From here, the main means of navigation assistance and types of vessels used in these areas will be investigated. And finally, a deeper analysis of the SAR system, previously mentioned, where its history, operation and interaction with the ice will be commented, making a brief introduction to the properties of the sea ice.

And finally experts and shipping companies will be consulted about their opinion about polar navigation and the SAR system. And it is Sayed in the beginning a serio of proposes and recommendations and conclusions.

With all this is intended to build an idea of the benefits and dysfunctions of polar navigation with special attention to the Arctic navigation that is the most interesting at a socioeconomic level. And analyze if the technologies that are being introduced as the SAR can be a turning point in polar navigation.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	4
TABLA DE CONTENIDOS	5
LISTADO DE ILUSTRACIONES	7
LISTADO DE TABLAS	10
1. Navegación polar.....	11
2. Cambio Climático.....	13
2.1. Pros y contras.....	14
2.2. Evolución del deshielo en la Antártida.....	15
2.3. Pros y contras del deshielo polar.....	15
3. Rutas del Antártico.....	18
4. Rutas del Ártico o Polo norte	20
4.1. Ahorro rutas del norte.....	21
4.1.1. E Paso del Noroeste.....	22
4.1.2. Paso del Noroeste.....	24
4.1.3. Ruta Marítima del Norte.....	27
4.1.4. Ruta Marítima Transpolar.....	28
4.1.5. Ruta del Puente Ártico.....	29
4.2. Estadísticas de tráfico Ártico.....	30
4.3. Navegaciones significativas.....	40
4.3.1. Navegación Venta Maersk.....	40
4.3.2. Navegación Tian En de COSCO.....	43
4.3.3. Navegación del buque Eduard Toll de la compañía Teekay.....	45
4.3.4. Navegación del Christophe de Margerie de la compañía SFC.....	46
4.4. Conflictos Políticos.....	47
5. Código Polar	49
6. Problemática navegación polar	55
7. Características buques de navegación polar.....	57
8. Principales medios de ayuda a la navegación polar	59
9. Propiedades del hielo marino.....	60
9.1. Parámetros de las grandes masas de hielo definidos por la OMM.....	60
9.2. Tablas definitorias del Código de la OMM.....	62
9.3. Estructura del hielo de pequeña escala y su crecimiento.....	63
9.4. Propiedades electromagnéticas del hielo, la nieve y las superficies de agua.....	67
10. Sistema SAR: Synthetic Aperture Radar.....	68
10.1. Introducción al SAR.....	68

10.2.	Definición.....	69
10.3.	Principios de adquisición de imágenes del SAR.....	70
10.4.	Historia del SAR.....	71
10.5.	Satélites más importantes que cuentan con la tecnología SAR.....	73
10.6.	Condiciones para la predicción y medición de fenómenos medioambientales con tecnología SAR.....	74
10.7.	Estudio de algunas imágenes tomadas con SAR.....	75
10.8.	Estimación de la deriva del hielo e icebergs.....	76
10.9.	Conclusiones y perspectivas respecto a sistema SAR.....	78
10.10.	Estimación de la deriva del hielo.....	83
10.11.	Conclusiones y perspectivas respecto al sistema SAR.....	86
11.	Consultas a expertos y compañías navieras.....	88
11.1.	Expertos consultados.....	88
11.2.	Navieras consultadas.....	89
11.3.	Preguntas y respuestas	90
11.4.	Conclusiones.....	90
12.	Sugerencias y recomendaciones.....	91
13.	Conclusiones.....	95
14.	Glosario.....	97
15.	Bibliografía.....	99
16.	Anexos.....	104

Listado de ilustraciones

- Ilustración 1: Región polar ártica. Fuente: www.worldatlas.com
- Ilustración 2: Región polar antártica. Fuente: www.worldatlas.com
- Ilustración 3: Corriente del golfo. Fuente: Bureau Veritas
- Ilustración 4: Causas del deshielo en los polos. Fuente: Reuters International
- Ilustración 5: Evolución del deshielo en el Ártico. Fuente: www.sostenibilidad.com
- Ilustración 6: Mayor glaciar de la Antártida, el Totten. Fuente: Gobierno de Chile
- Ilustración 7: Un oso polar atrapado. Fuente: Greenpeace
- Ilustración 8: Posibles consecuencias en la ciudad de Barcelona del aumento del nivel del mar. Fuente: Greenpeace
- Ilustración 9: Popular rompehielos ruso Yamal con propulsión nuclear liderando el convoy de buques mercantes el primer año que se realizó la ruta del norte a través de 2m de hielo en Siberia. Fuente Google imágenes
- Ilustración 10: Ruta Antártica. Fuente: OCEANWIDE expeditions
- Ilustración 11: Buque Hespérides surcando aguas de la Antártida: Fuente: EFE
- Ilustración 12: Previsión tráfico marítimo en el Círculo Polar Ártico. Fuente: El País
- Ilustración 13: Rutas marítimas Pacífico-Atlántico. Fuente: El País
- Ilustración 14: Imagen de las posibles rutas del paso del Noroeste
- Ilustración 15: Imagen satélite del paso del noroeste
- Ilustración 16: Mapa de las regiones árticas. Fuente: Wikipedia
- Ilustración 17: Puerto abandonado en la costa rusa
- Ilustración 18: Mapa de la Ruta del Mar del Norte. Fuente: www.geoenciclopedia.com
- Ilustración 19: La ruta del Mar Transpolar (amarillo), comparada con el Paso del Noroeste (verde) y el Paso del Noreste (lila). Fuente: Wikipedia
- Ilustración 20: Puente Ártico. Fuente: NAOC. NATO ASSOCIATION OF CANADA
- Ilustración 21: Número de tránsitos por año. Fuente: PAME
- Ilustración 22: Puertos de origen y de destino. Fuente PAME
- Ilustración 23: clasificación según carga. Fuente: PAME
- Ilustración 24: Clasificación de los buques según su pabellón. Fuente: PAME
- Ilustración 25: Clasificación de los buques según su pabellón. Fuente: PAME

Ilustración 26: Clasificación según tipo de buques. Fuente PAME.

Ilustración 27: Clasificación según destino. Fuente: PAME

Ilustración 28: Clasificación viajes en 2017. Fuente: NSR Administration

Ilustración 29: Gráficos de los viajes realizados en los años 2016 y 2017. Fuente: NSR Administration

Ilustración 30: Clasificación según el tipo de buque. Fuente: NSR Administration

Ilustración 31: Clasificación de los buques que navegan en la ruta del Mar del Norte según pabellón. Fuente: NSR Administration.

Ilustración 32: Clasificación según tonelaje de los Buques. Fuente: NSR Administration.

Ilustración 33: recopilación de todos los viajes del 2018. Fuente: CHNL

Ilustración 34: El portacontenedores Venta Maersk surcando aguas árticas. Fuente: Maersk

Ilustración 35: Buque Venta Maersk atracado en el puerto de San Petersburgo. Fuente: Maersk

Ilustración 36: El buque Tian En cargando en el puerto de Lianyungang. Fuente: COSCO

Ilustración 37: Buque Eduard Toll navegando en el Ártico. Fuente: LNG World News

Ilustración 38: Buque Christophe de Margerie navegando en el Ártico. Fuente: BBC

Ilustración 39: Guía OMI. Fuente: OMI

Ilustración 40: Guía OMI. Fuente: OMI

Ilustración 41: Mapas de hielo que expresan máximos y mínimos de la extensión de hielo del mar del Ártico arriba y del Antártico abajo.

Ilustración 42: Código de hielo marino desarrollado por la OMM

Ilustración 43: Fotos hechas durante la formación y la fusión del hielo marino a) hielo grasoso donde se ve las pequeñas olas que este genera. b) tortitas que varían entre 20 cm – 2m de diámetro c) piscinas sobre el

Ilustración 44: Cuatro tipos diferentes de hielo y los factores físicos que tienen un impacto en las propiedades de las microondas: TB: brightness temperature; S: salinity; g: emissivity; D: density. Source:

Ilustración 45: a) Ejemplo de una imagen del ERS-1 SAR, que cubre un área de 100km x 100km b) Resultado de la clasificación de los tipos de hielo marino con SAR. Clasificaciones de tipos de hielo marino y aguas abiertas con imágenes SAR (azul: mar abierta; gris: hielo)

Ilustración 46: En esta imagen se muestra la emisividad estacional del hielo del Ártico para 18 y 37Hz que son las frecuencias más importantes utilizadas para estimar la concentración de hielo.

Ilustración 47: satélite OKAN-O lanzado por Rusia, equipado con la tecnología SAR.

Ilustración 48: Satélite ERS-1 con tecnología SAR, dejó de estar en servicio en 1996

Ilustración 49: Datos técnicos del ERS-2 satélite con dispositivo SAR

Ilustración 50: reproducción virtual del satélite ENVISAT en su órbita polar.

Ilustración 51: imagen que nos muestra un esquema del funcionamiento de adquisición de imágenes del satélite ERS-1.

Ilustración 52: Dispersión resonante Bragg

Ilustración 53: Derrame de crudo captado por vía de fotografía aérea

Ilustración 54: derrame captado por el ERS-2

Ilustración 55: Esquema de la circulación de Langumir.

Ilustración 56: En la imagen se puede ver el estrecho de Gibraltar modificado su color

Ilustración 57: captura del RADARSAT

Ilustración 58: Derrame de crudo.

Ilustración 59: derrame de crudo captado por el ERS-1

Ilustración 60: células de lluvia cerca de la costa de Menorca

Ilustración 61: Frente atmosférico captado mediante tecnología SAR

Ilustración 62: Tifón tropical captado con SAR

Ilustración 63: Témpanos de hielo captados por medio del sistema SAR.

Ilustración 64: proceso de la estima de la deriva del hielo

Ilustración 65: mapa de velocidades de deriva del hielo marino.

Ilustración 66: imagen del software SAR-ice.

Ilustración 67: Imagen del software SAR-ice.

Listado de Tablas

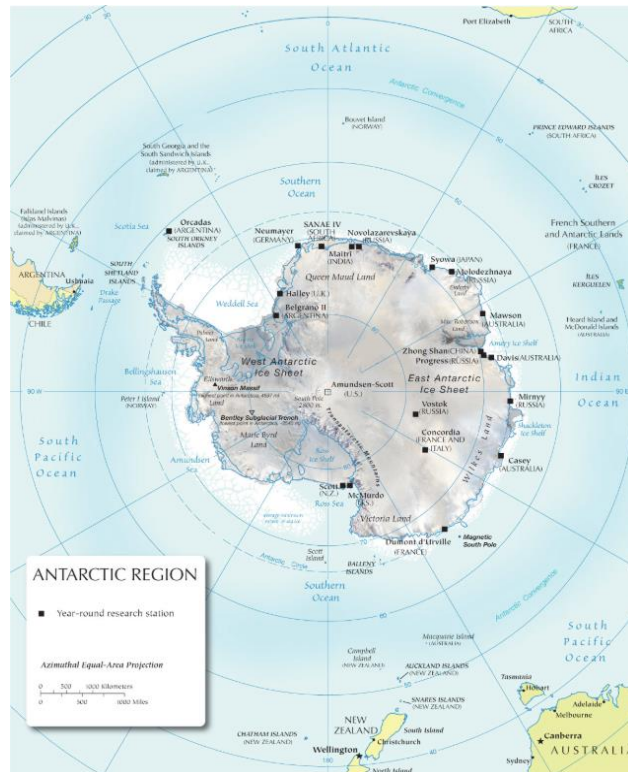
Tabla 1: Distancias entre Asia y Europa

Tabla 2: Descripción Clases Polares. Fuente: Propia

Tabla 3: Definiciones del Código

Tabla 4: Los satélites más importantes que cuentan con la tecnología SAR

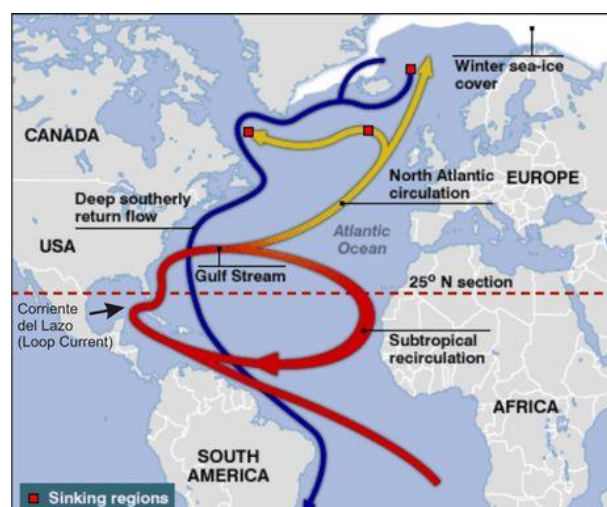
Tabla 5: Esta tabla muestra las capacidades de detección de fenómenos marinos de los distintos Satélites en órbita actualmente



Il·lustració 2: Regió polar antàrtica.

Fuente: www.worldatlas.com

La Corriente del Golfo es una corriente cálida al Norte del Océano Atlántico que fluye en dirección Noreste desde el estrecho de Florida a la región de los Grandes Bancos, al Este y al Sur de Terranova. Se suele extender el término para incluir la Deriva del Atlántico Norte, que discurre desde los Grandes Bancos a las costas occidentales de Europa e islas orientales del Océano Glacial Ártico. La corriente del Golfo tiene una gran importancia climática debido a sus efectos moderadores en el clima de la Europa occidental.



Il·lustració 3: Corriente del golfo. Fuente: Bureau Veritas

2. Cambio climático

En los últimos 30 años el cambio climático está jugando un papel fundamental en las zonas polares, tanto en el Ártico como en el Antártico por la aceleración de los efectos del mismo. Esto es debido al calentamiento global que está propiciando el deshielo de estas áreas y está permitiendo las navegaciones por estas regiones. En el Ártico mayoritariamente a nivel comercial y en el Antártico a nivel turístico.

El Ártico tiene más repercusión debido a la importancia comercial ya que permite el transporte de mercancías de Este a Oeste, uniendo Asia y Europa convirtiéndose así en un paso internacional de interés estratégico además de por sus recursos naturales y energéticos.

Si bien normalmente el deshielo tiene lugar entre los meses de junio y septiembre para volver a congelarse en invierno. Desde unos años hacia atrás esta tendencia está cambiando poco a poco y el hielo no se está volviendo a formar en invierno, es decir, no se están formando los grandes témpanos ni el hielo marino.

Las principales causas del derretimiento de los polos son las emisiones de gases y el famoso efecto invernadero.

Las emisiones de gases contaminantes hacen que la tierra se caliente más cambiando la temperatura de los océanos y mares, afectando así a los polos. El dióxido de carbono es uno de los responsables de esto, ya que es lo que más se emite en el uso de combustibles o lo que también conocemos como combustibles fósiles.

El efecto invernadero en general, contribuye a que el planeta incremente su temperatura porque cualquier gas capaz de absorber la radiación y mantenerla en la atmósfera hará que los polos y en general, cualquier forma de vida en la tierra sienta más calor.

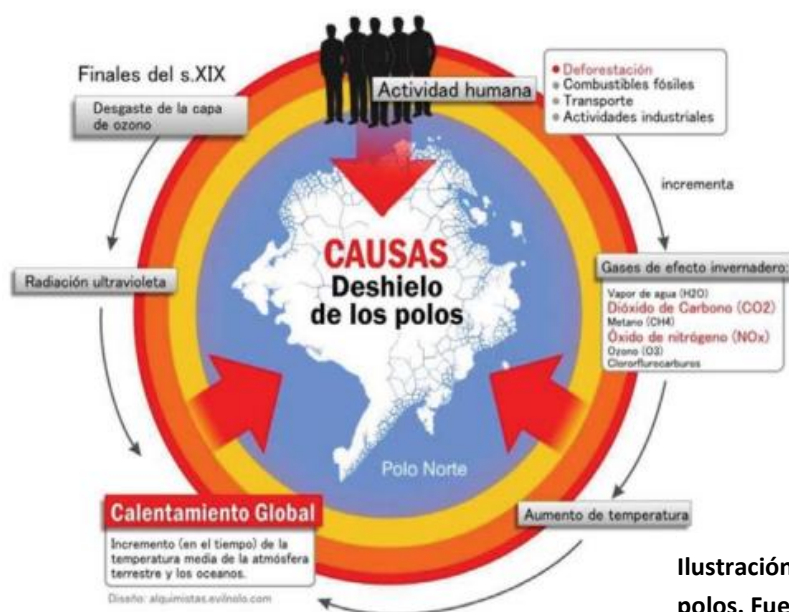


Ilustración 4: Causas del deshielo en los polos. Fuente: Reuters International

2.1. Evolución del deshielo en el Ártico

Como se puede observar en la siguiente imagen en el Ártico, desde la década de los 70 hasta el 2005 se había reducido en un 30 % el área cubierta por el hielo marino. Actualmente esta área es de 4,26 millones de kilómetros cuadrados, lo que supone una reducción del 8% aproximadamente desde el 2005. La previsión es que en el 2100 el hielo marino sea prácticamente inexistente en la región del Ártico.

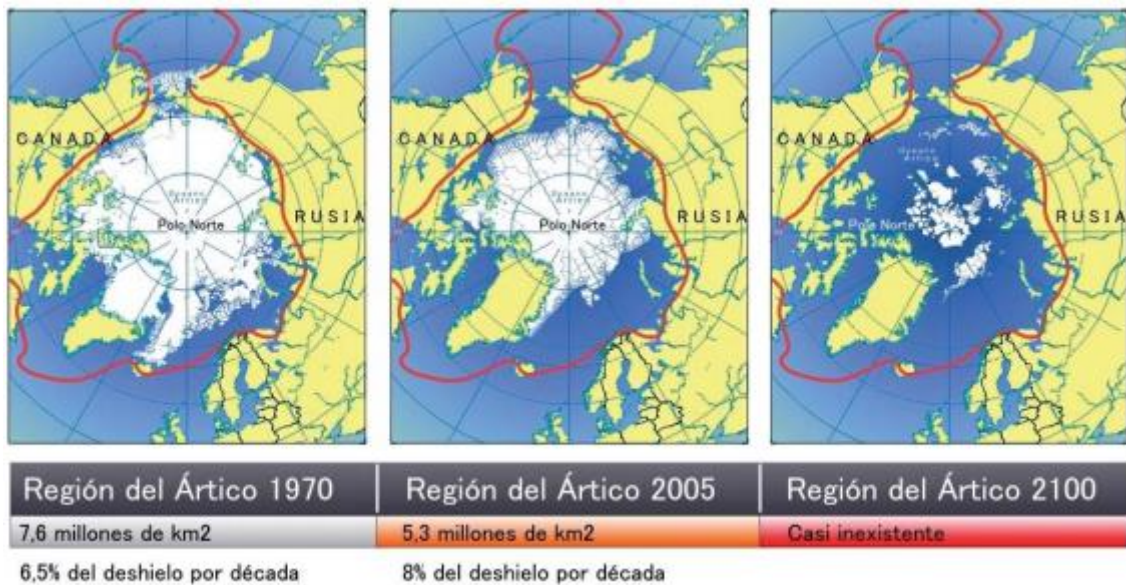


Ilustración 5: Evolución del deshielo en el Ártico. Fuente: www.sostenibilidad.com

2.2. Evolución del deshielo en la Antártida

En la Antártida, existe una tendencia de deshielo muy similar e igual de preocupante. Recientemente, el Gobierno de Chile ha hecho público que el mayor glaciar de la región Antártida, el Totten, con 130 km de largo y 30 de ancho, se está derritiendo debido al aumento de la temperatura del mar. Otro de sus grandes glaciares, el Smith, ha ido reduciéndose casi 2 km por año, hasta perder 35 km de superficie.



Ilustración 6: Mayor glaciar de la Antártida, el Totten. Fuente: Gobierno de Chile

2.3. Pros y contras del deshielo polar

Son muchas las consecuencias negativas del deshielo de las regiones polares. Pues cualquier alteración del medio ambiente genera un efecto negativo en los ecosistemas que lo sufren y al planeta y los seres vivos que habitamos en él y somos parte de dichos ecosistemas.

El aumento del nivel del mar es uno de los principales problemas al que nos tendremos que enfrentar. Se prevé una subida de hasta 1,5 metros en algunas costas. Con las consecuencias que esto conlleva.

Otro de los problemas que generará el deshielo es la destrucción del hábitat de muchas especies de animales y de algunos grupos de seres humanos. Entre las especies más características, y también más sensibles a los cambios, se encuentra el oso polar, el mayor oso del planeta. Su zona de extensión son las áreas cercanas al Polo Norte (no existen en la Antártida), donde está

sufriendo un deterioro de sus condiciones de vida según los hielos se retiran y su hábitat natural se modifica.

Otro de los grandes afectados por el calentamiento del Polo Norte son los pueblos del Ártico (unos 400.000 habitantes): los sami o lapones en Europa, los pueblos siberianos (nenets, yakutos, evenki, chukchi, etc.) en Asia, pero especialmente los inuit de América del Norte.

Pero por otra parte también existen ciertas ventajas a raíz del deshielo, pues la presencia de hielo marino (sea ice) representa una limitación importante para los buques y las operaciones offshore en las altas latitudes de ambos hemisferios.



Ilustración 7: Un oso polar atrapado. Fuente: Greenpeace



Ilustración 8: Posibles consecuencias en la ciudad de Barcelona del aumento del nivel del mar. Fuente: Greenpeace

El hielo del mar, que es en promedio de 2-3 m de espesor, puede ser penetrado únicamente por buques de casco-reforzado o rompehielos. La mayoría de los buques mercantes y buques de pesca no son de casco reforzado y por lo tanto deben evitar todas las áreas de hielo. En muchos casos, cuando la concentración de hielo es del 100% y la presión del mismo muy elevada, incluso los rompehielos más potentes tienen problemas para desplazarse a través del hielo.

Todos estos problemas se ven favorecidos por el deshielo pues permite la navegación por estas áreas normalmente impenetrables por buques no especializados, facilitando y acortando las rutas comerciales entre continentes, como se explicará más adelante.



Ilustración 9: Popular rompehielos ruso Yamal con propulsión nuclear liderando el convoy de buques mercantes el primer año que se realizó la ruta del norte a través de 2m de hielo en Siberia. Fuente Google imágenes

3.Navegación en la Antártida

La navegación que se lleva a cabo en el Polo Sur es exclusivamente de carácter turístico o científico. Esto se debe a que la Antártida no se encuentra cerca de centros de producción o de países con una gran industria o materias primas.

Por este hecho los buques que surcan sus mares son pequeños cruceros que realizan distintos recorridos como pueden ser: Ushuaia, Argentina- Bluff, Nueva Zelanda pasando por la Península Antártica, la isla Pedro I, el mar de Ross, Isla Macquaire....

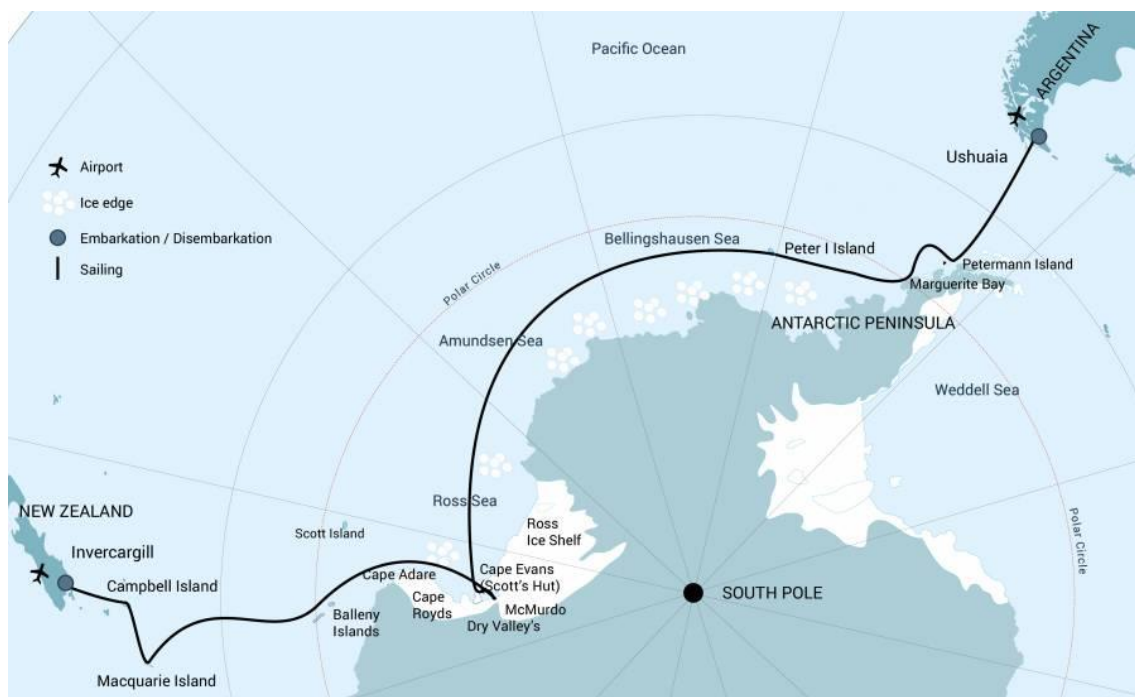


Ilustración 10: Ruta Antártica. Fuente: OCEANWIDE expeditions

También hay distintos buques oceanográficos tanto de organizaciones gubernamentales como ONG que navegan en la Antártida por razones científicas.

En la siguiente imagen se puede ver el buque de investigación oceanográfica Hespérides (A-33) perteneciente a la fuerza de acción marítima de la armada española.



Ilustración 11: Buque Hespérides surcando aguas de la Antártida: Fuente: EFE

4. Navegaciones en el Ártico

A diferencia de la Antártida el Ártico tiene un atractivo comercial muy elevado para las compañías navieras, así como aquellas que se dedican a la explotación de los recursos naturales que se encuentran en esta región.

El principal atractivo es el acercamiento entre los continentes asiático y europeo por la disminución de kilómetros. Y podría, en un futuro no muy lejano, representar una alternativa real a las rutas comerciales convencionales.

Actualmente las rutas del Ártico son transitables unos cuatro meses al año, de finales de julio a noviembre. Sin embargo, el calentamiento global puede incrementar estos periodos más allá del verano. Además, como ya se ha comentado anteriormente el deshielo actual ya ha llevado a abrir rutas que hasta hace poco eran totalmente impracticables.

Aun que actualmente el Canal de Suez sigue siendo la opción elegida, como se recoge en los datos ofrecidos por la Autoridad del Canal: 17.550 buques lo transitaban en el año 2018 frente los 24 que usaron la Ruta del Norte, en un futuro puede tomar una gran importancia esta nueva ruta.

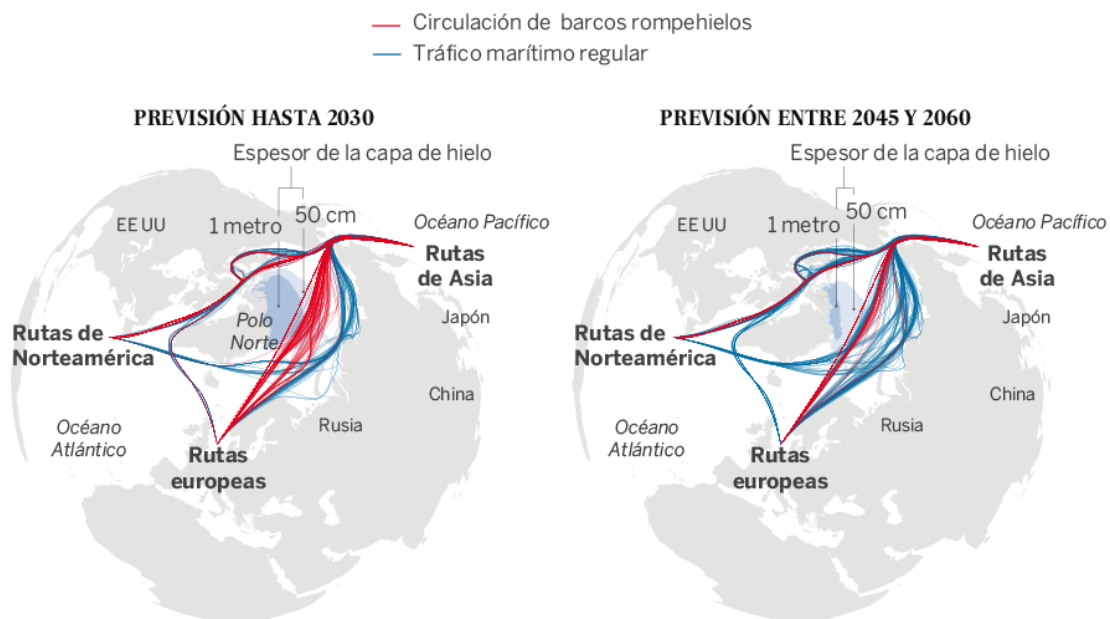


Ilustración 12: Previsión tráfico marítimo en el Círculo Polar Ártico. Fuente: El País

Como consecuencia del calentamiento global el grosor del hielo se reducirá notablemente permitiendo a los buques rompehielos abrir rutas al tráfico comercial a través de capas de hielo de un máximo de 1,5 metros de grosor.

Como se ve en las imágenes con el paso de los años se prevé una disminución de las rutas que deban ser abiertas por rompehielos y un aumento de las rutas regulares, debido a la disminución del hielo y su grosor.

4.1. Ahorro de las rutas polares respecto a la ruta del Canal de Suez

Como ya se ha comentado anteriormente, las rutas polares suponen un gran ahorro a las navieras al transportar mercancías a través de una ruta más corta, respecto a las rutas convencionales, como es la ruta del Noreste.

En la siguiente imagen encontramos un estudio detallado de las dos grandes rutas convencionales comparadas con el Paso del Noroeste.

Table 1. Sailing distances between Asia and Europe.				
To Rotterdam, via (in nautical miles)				
From	Cape of Good Hope	Suez Canal	NEP	Difference between Suez and NEP (%)
Yokohama	14,448	11,133	7010	37
Busan	14,084	10,744	7667	29
Shanghai	13,796	10,557	8046	24
Hong Kong	13,014	9701	8594	11
Ho Chi Minh City	12,258	8887	9428	-6

Tabla 1: Distancias entre Asia y Europa

Como vemos la comparativa esta expresada en millas náuticas y nos indica las distancias entre Rotterdam (Europa) y distintos puertos de Asia. Para ello se diferencia entre tres posibles rutas.

- Ruta del Cabo de buena esperanza, es decir, rodeando el continente africano.
- Ruta por el Canal de Suez, donde se debe cruzar todo el mediterráneo.
- Y finalmente la ruta por el Paso del Noreste (Northeast Passage= NEP).

Existen otra ruta que confluyen por la zona polar Ártica:

- Paso del Noroeste (Northwest Passage=NWP)
- Ruta del mar Transpolar
- Ruta del Mar del Norte
- Puente Ártico

LAS RUTAS MARÍTIMAS PACÍFICO-ATLÁNTICO



Ilustración 13: Rutas marítimas Pacífico-Atlántico.

Fuente: El País

4.1.1. El paso del Noroeste

El paso del noroeste es el nombre que se le otorga a la ruta marítima que confluye por el borde de Norteamérica por el norte, atravesando el océano Ártico y conectando el estrecho de Davis y el estrecho de Bering, es decir, conectando el océano Atlántico y el océano Pacífico.

Esta ruta transcurre a través de un grupo de estrechos que se encuentran en el archipiélago ártico canadiense, entre las tierras del continente y las grandes islas del Ártico.



Ilustración 14: Imagen de las posibles rutas del paso del Noroeste

Observando de oeste a este, la ruta del paso del Noreste se inicia en el océano Pacífico más concretamente del estrecho de Bering, que es el que separa Rusia de Alaska, seguidamente encontramos el mar de Chukchi y el mar de Beaufort, a continuación, la ruta cruza el archipiélago ártico canadiense donde se puede escoger hasta siete rutas diferentes. Algunas de ellas son:

- La del estrecho de McClure
- La del estrecho de Dease
- La del estrecho del Príncipe de Gales

El problema es que muchas no tienen las características necesarias para que por ellas transiten grandes buques mercantes.

La ruta continúa cruzando la bahía de Baffin para a continuación salir por el estrecho de Davis directamente al océano Atlántico.

Se creó que a causa del calentamiento global se reducirá la capa de hielo del Ártico, quedando así una vía navegable a través de la ruta del paso del Noroeste por la reducción de la capa de hielo que hay actualmente, por lo tanto, la ruta del paso del Noroeste puede llegar a estar lo suficientemente libre de hielo como para permitir un nuevo transporte comercial seguro, por lo menos en parte del año. El 21 de agosto de 2007, el paso del Noroeste permaneció abierto al tráfico marítimo durante el verano boreal sin la necesidad de utilizar barcos rompehielos. Según Nalan Koc, profesor del Instituto Polar Noruego, esta fue la primera vez que quedó abierto desde que se tomaron los primeros en 1972. El 26 de agosto de 2011 el paso quedó otra vez abierto. Algunas estimaciones señalan que el trayecto puede llegar a ser navegable aproximadamente en el año 2020 y, de ser así, disminuiría considerablemente el trayecto marítimo entre Asia y Europa, convirtiéndose en una ruta alternativa y mucho más rentable que las del Canal de Panamá y el Canal de Suez: actualmente el trayecto Londres-Osaka, supone 23.300 km por Panamá y 21.200 km por Suez: por el Paso del Noroeste quedaría reducido a solamente 15.700 km.

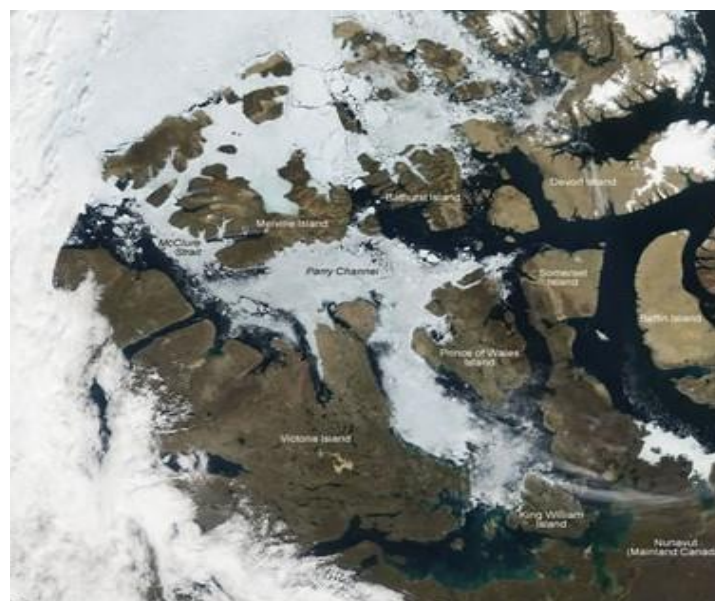


Ilustración 15: Imagen satélite del paso del noroeste

El Gobierno de Canadá considera que los estrechos por los que pasa la ruta del paso del Noroeste

forman parte de sus aguas territoriales, pero varios países mantienen que según lo que se decidió en UNCLOS (Convención de las naciones unidas sobre el derecho al mar) los estrechos se consideran aguas internacionales, lo que permitiría el tráfico marítimo libre y sin peajes. Es una cuestión que está trayendo mucha disputa entre las grandes potencias mundiales, pues en este territorio aparte de encontrarse estas grandes rutas importantísimas, de cara al futuro, a nivel comercial, en él se encuentran importantes reservas de petróleo, gas, diamantes y plomo.

4.1.2. Paso del Noreste

El paso del Noreste, es la ruta de navegación que une el océano Pacífico y el océano Atlántico resiguiendo la costa de Rusia. La mayor parte de la ruta marítima es a través de aguas del Ártico, donde algunas partes se encuentran libres de hielo únicamente dos-tres meses cada año en las épocas estivales.

El paso del Noreste cuenta con múltiples situaciones de partida, tanto desde el viejo continente (Europa), estos están en puertos del mar del Norte, y otros tantos los encontramos en Rusia directamente. A continuación, se detallará una de las posibles rutas detallando sus grandes etapas:

- Mar Blanco: Esta etapa se inicia en el principal puerto ártico de Rusia, conocido como Arcángel.
- Mar de Barents: Se debe cruzar la totalidad del mar de Barents hasta llegar al mar de Pechora donde encontraremos de donde sale uno de los dos estrechos que lo cierran en su borde oriental, el estrecho de Yugor o el estrecho de Kara.
- Mar de Kara: El puerto de Amderma, que se encuentra a unas 675 millas náuticas del puerto de Arcángel, está ubicado en la bahía de Bajdaratskaya en la ribera occidental, es el principal puerto de esta etapa del pasaje del Noreste. Seguidamente la ruta entra en el mar de Kara donde encontramos el puerto de Dikson, que está en la ribera oriental del golfo de Yeniséi. Después de cruzar el mar de Kara, que son aproximadamente 780 millas náuticas, se navega a través del estrecho de Vilkitsky, que está formado por las islas de la Tierra del Norte y la península de Taimyr.
- Mar de Láptev: después de navegar el estrecho de Vilkitsky entramos en el mar de Láptev donde encontramos los puertos de Játanga y Tiksi, para seguidamente salir por el estrecho de Dimitri Láptev al sur de las islas de Nueva Siberia o por el estrecho de Sánnikov al mar de Siberia oriental
- Mar de chukotka: después de navegar el largo del mar de Siberia Oriental salimos al mar de Chukotka.

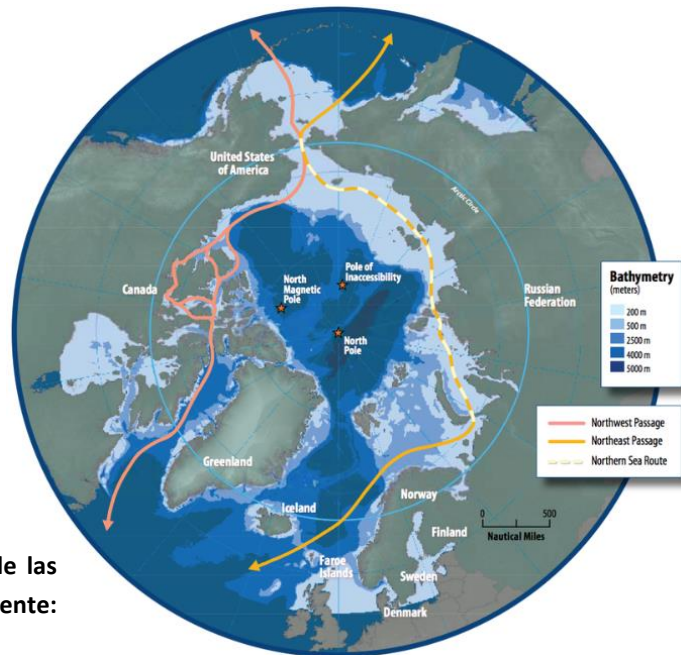


Ilustración 16: Mapa de las regiones árticas. Fuente: Wikipedia

Primeras Navegaciones

Las primeras navegaciones por la Ruta marítima del Paso del Noreste se realizaron en buques a vapor rompehielos gracias a la aparición de la radio. Esto fue en 1917, después de la Revolución rusa. Como Rusia y toda la Unión Soviética se encontraba aislada de occidente, se vieron obligados a transitar esta ruta, pues era la única ruta que se abría paso únicamente por aguas seguras, bélicamente hablando, pues se encontraban en guerra con gran parte de sus vecinos. Además, también era la ruta más corta entre la parte occidental y la parte oriental de la URSS.

Pero no fue hasta el 1932 que se realizó la navegación de la ruta completa, desde el puerto de Arkhangelsk hasta el Estrecho de Bering, en un mismo verano sin parar a hibernar. Esta expedición fue comandada por el profesor Otto Schmidt Yulievic.

A esta primera navegación le siguieron otras dos también de "prueba", una en 1933 y otra en 1934 después de las que ya la ruta quedó oficialmente abierta a la navegación comercial que empezó el año 1935.

Gracias a esta ruta la URSS pudo trasladar gran parte de su flota del Báltico al pacífico donde se preveía un gran conflicto armado con Japón.

El año 1932 se creó la Administración de la Ruta Marítima del Norte, que era el órgano rector, que fue dirigido en sus inicios por Otto Schmidt. La administración era la encargada de la construcción de los puertos del Ártico, importantes para la ruta y a su vez era la supervisora de la navegación por la ruta.

Una vez desvanecida la URSS, allá por los años 90, la navegación comercial se hizo imposible en ciertos tramos de la ruta.

Actualmente solo existen dos tramos de la ruta que se usan con fines comerciales, pero estos no están conectados entre sí.

Estos tramos son:

- De Múrmanska a Dudinka, que se encuentra al oeste.
- De Vladivostok y Pevek, que está al este.

En la actualidad tampoco existe una navegación regular en el tramo de Dudinka y Pevek. Muchos de los puertos de la Ruta Marítima del Norte han sido abandonados como por ejemplo el de Nordvik, en el mar de Láptev o el de Logashkino, en la bahía de Kolymá.

De todas maneras, existen muchos otros puertos que están libres de hielo durante la totalidad del año. Estos puertos, empezando del oeste y avanzando hacia el este, son los siguientes:

- Múrmansk, en la península de Kola
- Petropavlovsk en Kamchatka
- Magadán
- Vanino
- Najodka
- Vladivostok,

Todos los puertos enumerados anteriormente se encuentran situados en el litoral del pacífico de Rusia.

Hay otros puertos que, normalmente y en condiciones climatológicas normales, solo se pueden utilizar en el periodo estival que es de julio a octubre. De manera excepcional existen puertos como el de Dudinka que están operativos ya que se nutren de los servicios de rompehielos de alimentación atómica.



Ilustración 17: Puerto abandonado en la costa rusa

4.1.3. Ruta Marítima del Norte o ruta del Mar del Norte

La ruta del Mar del Norte definida oficialmente por la legislación rusa. Esta transcurre a lo largo de la costa de Rusia desde el Mar de Kara, a lo largo de Siberia y hasta el estrecho de Bering. Toda la ruta se encuentra en aguas árticas y más concretamente dentro de la Zona Económica Exclusiva de Rusia.

Algunas partes de la ruta están libres de hielo únicamente dos meses al año. La ruta completa a lo largo de la costa ártica de Rusia se conoce como el Paso del Noroeste, anteriormente explicado. Este es análogo a la ruta del Mar del Norte.

Mientras que el Paso del Noroeste incluye todo el mar del este ártico y conecta los océanos Atlántico y Pacífico, la ruta del Mar del Norte no incluye el Mar de Barents y como consecuencia no llega al Atlántico.

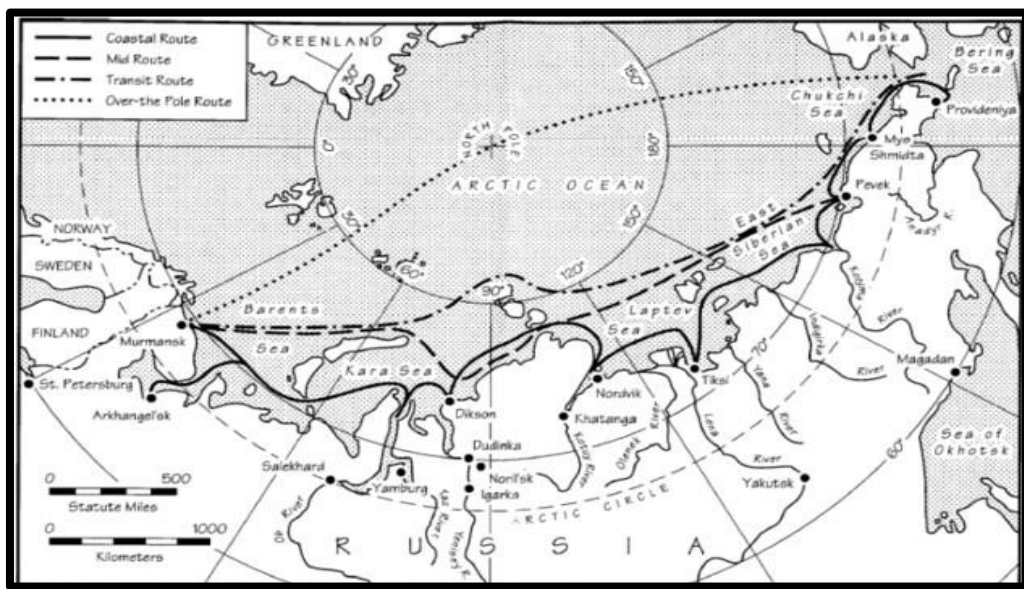


Ilustración 18: Mapa de la Ruta del Mar del Norte. Fuente: www.geoenciclopedia.com

4.1.4 Ruta del Marítima Transpolar

Esta ruta transcurre entre el océano Atlántico y el océano Pacífico a través del centro del océano Ártico. Al contrario que el Paso del Noreste y el Paso del Noroeste esta ruta no surca aguas territoriales de ningún país Ártico y transcurre a través de aguas internacionales.

Actualmente la ruta es navegable únicamente por grandes rompehielos, pero se prevé que se convierta en la ruta ártica predominante alrededor del 2030.

Esta ruta cuenta con unos 3.900 kilómetros (2.100 millas náuticas) de recorrido. Es la más corta de las rutas Árticas. A diferencia de las rutas del Paso del Noreste y el Paso del Noroeste que son las dos rutas costeras la ruta del Mar Transpolar es una ruta oceánica que pasa cercana al Polo Norte.

Al pasar fuera de las Zonas Económicas Exclusivas de los países del Ártico se convierte en una ruta con una importancia geopolítica increíble para los países excluidos de estas zonas.



Ilustración 19: La ruta del Mar Transpolar (amarillo), comparada con el Paso del Noroeste (verde) y el Paso del Noreste (lila). Fuente: Wikipedia

4.1.5. Ruta del Puente Ártico

Esta ruta es transitable estacionalmente cuatro meses en verano. Cuenta con unos 6.700 kilómetros (4.200 millas náuticas) y une las costas de Canadá y Rusia, más concretamente el puerto ruso de Murmansk y el canadiense, puerto de Churchill en la baía de Hudson.

El desarrollo de esta ruta podría cubrir la mayoría de comercio entre Europa y Norte América en un futuro próximo con la ayuda de la infraestructura ferroviaria que cubriría el tramo entre Rusia y Europa.



Ilustración 20: Puente Ártico. Fuente: NAOC. NATO ASSOCIATION OF CANADA

4.2. Estadísticas tráfico Ártico

No son muchos los datos que se encuentran en la red acerca de las navegaciones árticas y los que hay no están actualizados, de todas maneras, se puede extraer una idea sólida sobre las navegaciones que se desarrollan normalmente en esta región.

Años 2011 – 2015

La PAME de sus siglas en inglés (Protection of the Arctic Marine Environment) creó unas gráficas donde se refleja el número de tránsitos a través de la ruta del Mar del Norte entre los años 2011 y 2015.

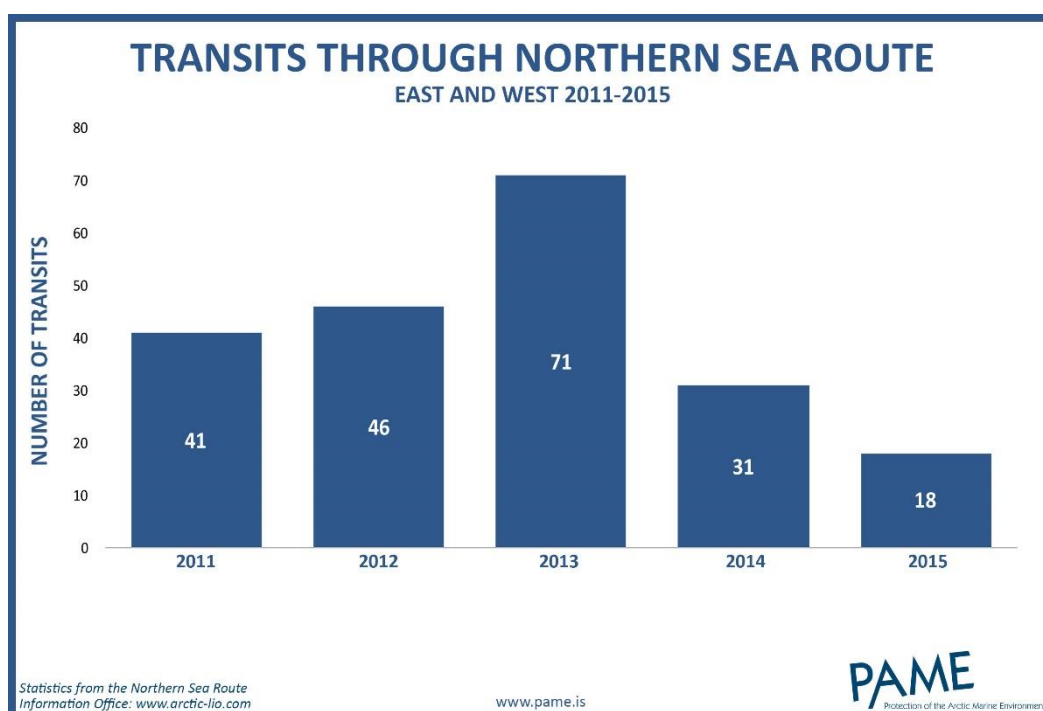


Ilustración 21: Número de tránsitos por año. Fuente: PAME

Como se puede observar tanto en 2013 como en 2015 se puede apreciar un cambio en las tendencias. Esto fue debido a las condiciones climatológicas especiales que se produjeron en esos años (altas temperaturas en 2013 y bajas temperaturas en 2015).

Podemos apreciar que entre el 2011 y el 2015 un total de 207 buques transitan la ruta del Mar del Norte.

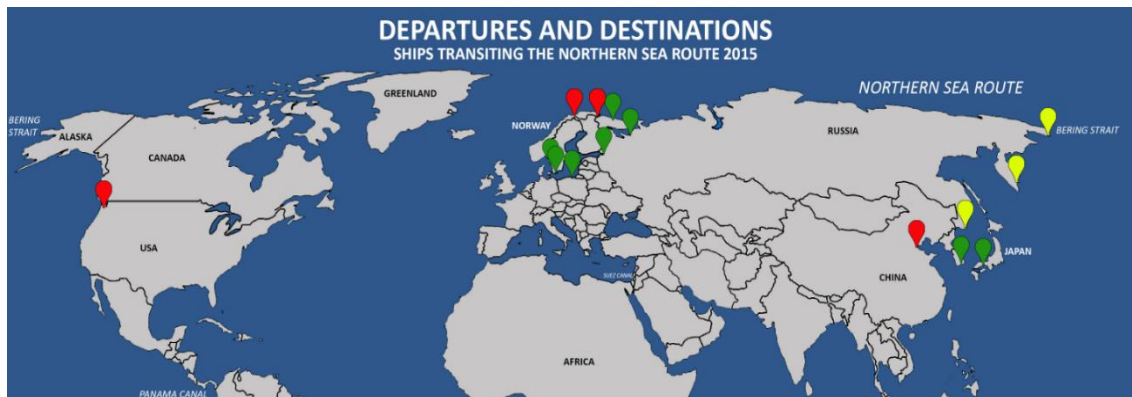


Ilustración 22: Puertos de origen y de destino. Fuente PAME

En la anterior imagen se pueden apreciar los principales puertos de origen y de destino de los distintos buques que transitaron la región ártica en el año 2015.

Los puntos rojos marcan puertos de origen o salida. Como se observa se pueden encontrar, tanto puertos de norte américa, como es el puerto de Seattle, como puertos rusos, noruegos o chinos donde figura el importante puerto de Shanghái.

Los puntos verdes marcan los puertos de destino o de llegada. Entre ellos figuran puertos en Japón (Osaka), Rusia, Corea del Sud, Polonia, etc.

Y finalmente los puntos amarillos marcan aquellos puertos que han hecho las funciones tanto de puerto de llegada como de origen. La mayoría de ellos son puertos rusos a excepción del puerto de Varberg, puerto de Suecia.

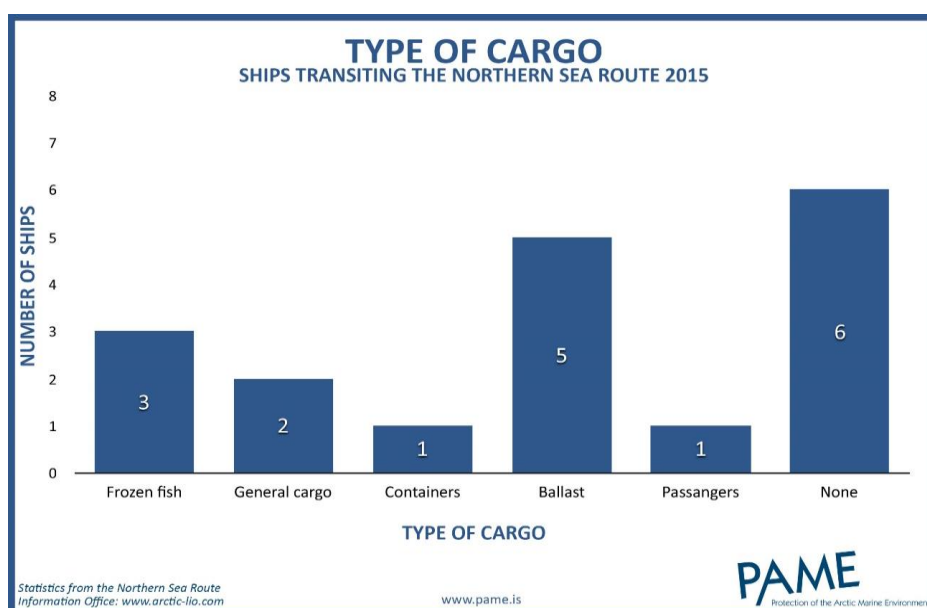


Ilustración 23: clasificación según carga. Fuente: PAME

Otra de las clasificaciones que nos ofrece la PAME es por el tipo de carga que transportan los buques que transitan la ruta del Mar del norte en el año 2015.

Como se puede observar los 18 buques transportaron cinco tipos de cargas distintas.

Un tercio de ellos viajaban de vacío, cinco más viajaban en lastre, tres eran buques frigoríficos de pescado, dos de carga general y finalmente uno de pasajeros y otro de containers.

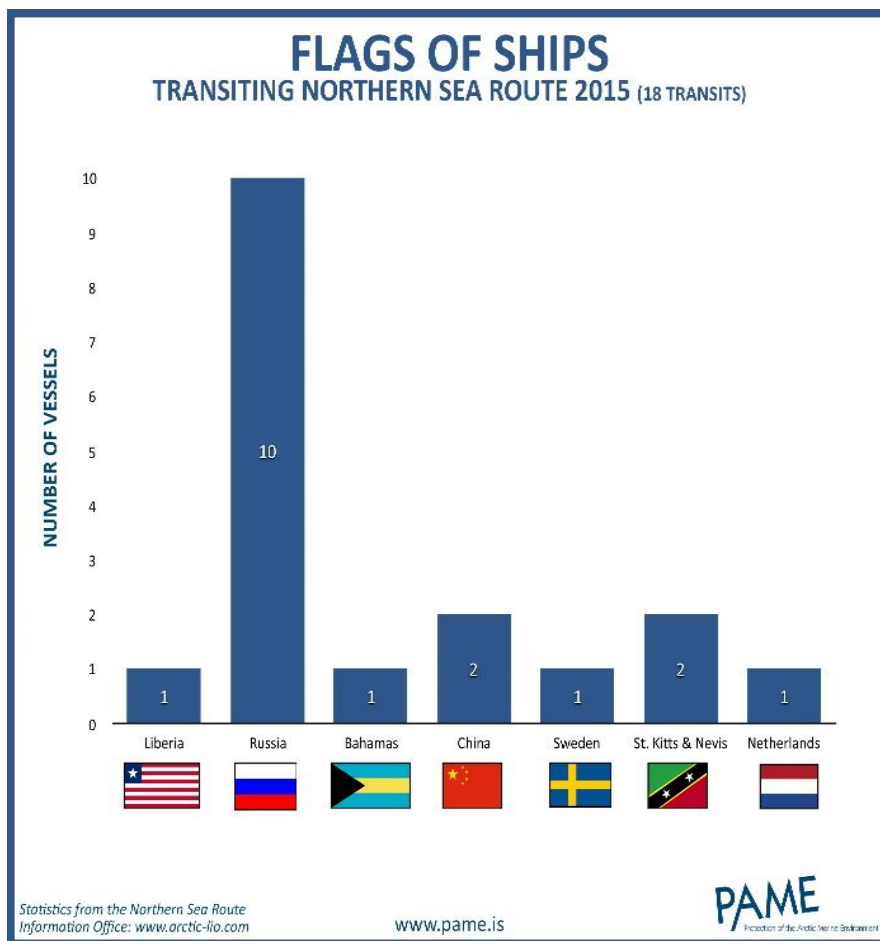


Ilustración 24: Clasificación de los buques según su pabellón.

Fuente: PAME

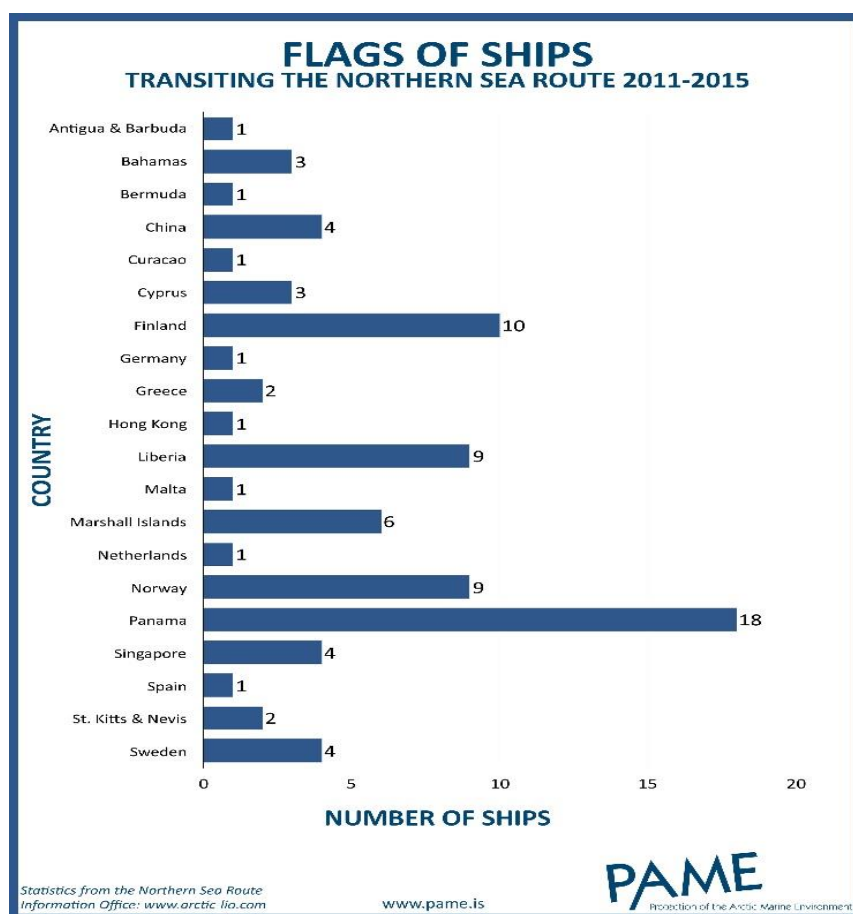


Ilustración 25: Clasificación de los buques según su pabellón.

Fuente: PAME

Una más de las clasificaciones es según el pabellón que enarbolan los buques. En este punto encontramos dos gráficos. Uno únicamente del año 2015 y otro del 2011 al 2015.

En el primero vemos que entre los 18 buques que transitan la ruta del Mar del Norte hay 7 banderas distintas y que la mayoritaria con diferencia es la rusa.

En el segundo gráfico podemos observar como de los 207 buques que transitan solo aparecen 82 en 20 países, esto es debido a que los 125 restantes enarbolan bandera rusa y no se incluyen.

Las tres banderas más numerosas en el ranking son: Panamá, Finlandia y en el tercer lugar se encuentran empatadas Noruega y Liberia.

Otra de las clasificaciones que encontramos en la página web de la PAME es según el tipo de buque, es decir el fin para el que está despachado.

Esta clasificación se basa en nueve tipos siendo los más numerosos con mucha diferencia los buques tanque, seguidos por los buques de carga general y en tercer lugar empatados los buques rompehielos y los remolcadores o supplys.

Muy cerca de estos se encuentran los buques graneleros y los buques frigorífico.

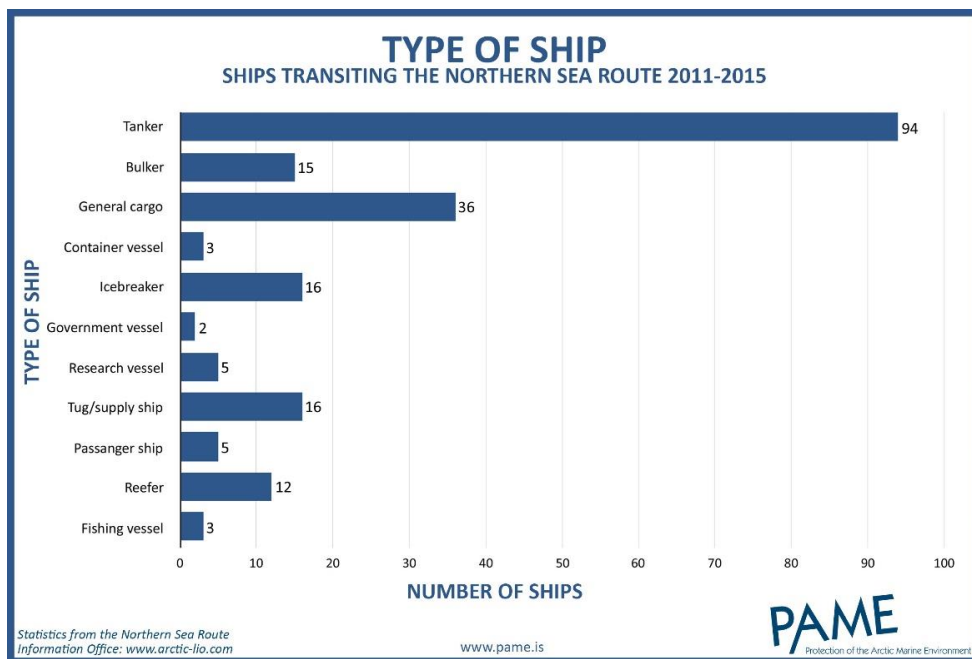


Ilustración 26: Clasificación según tipo de buques. Fuente PAME

Por último, PAME nos ofrece una clasificación de los destinos de estos buques entre el año 2011 y 2015. Una vez más aparecen 125 de los 205 buques pues se excluyen aquellos que enarbolan bandera rusa.

Se puede ver que el destino más concurrido es China seguido de Corea del Sur. Además, se indica que el 64% de estos buques tienen como destino el continente asiático. Frente al 36% que recae en Europa.

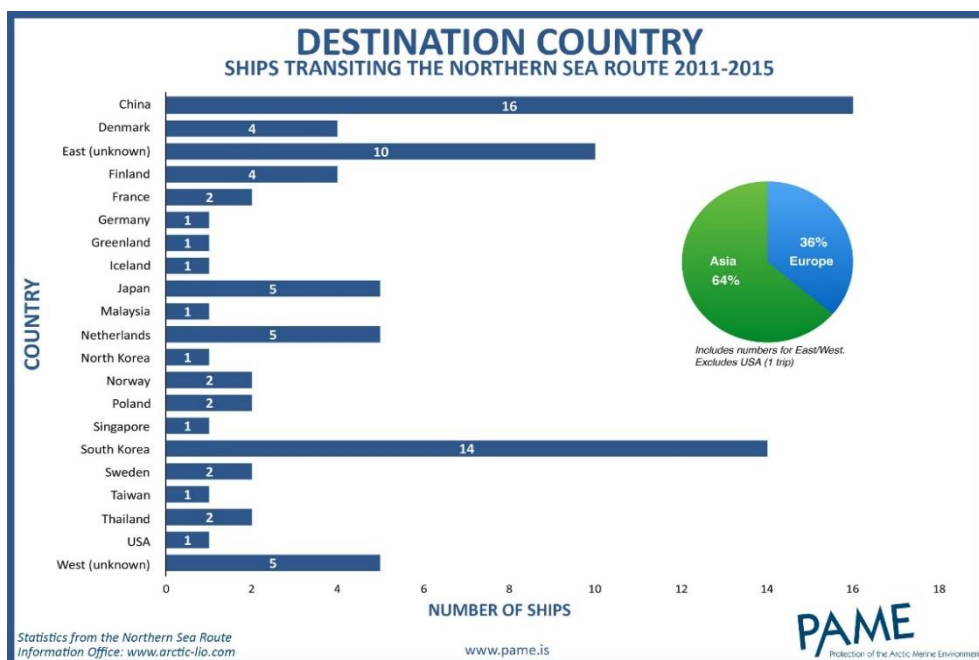


Ilustración 27: Clasificación según destino. Fuente: PAME

Años 2016 – 2017

Para los años 2016 y 2017 encontramos estadísticas y gráficos creados por el CHNL (Centre for High North Logistics) y la Nord University. Este estudio este hecho a partir de los datos recogidos por el sistema AIS (Automatic Identification System) y la información recolectada y difundida en la página web de la administración del Mar del Norte, la NSR Administration.

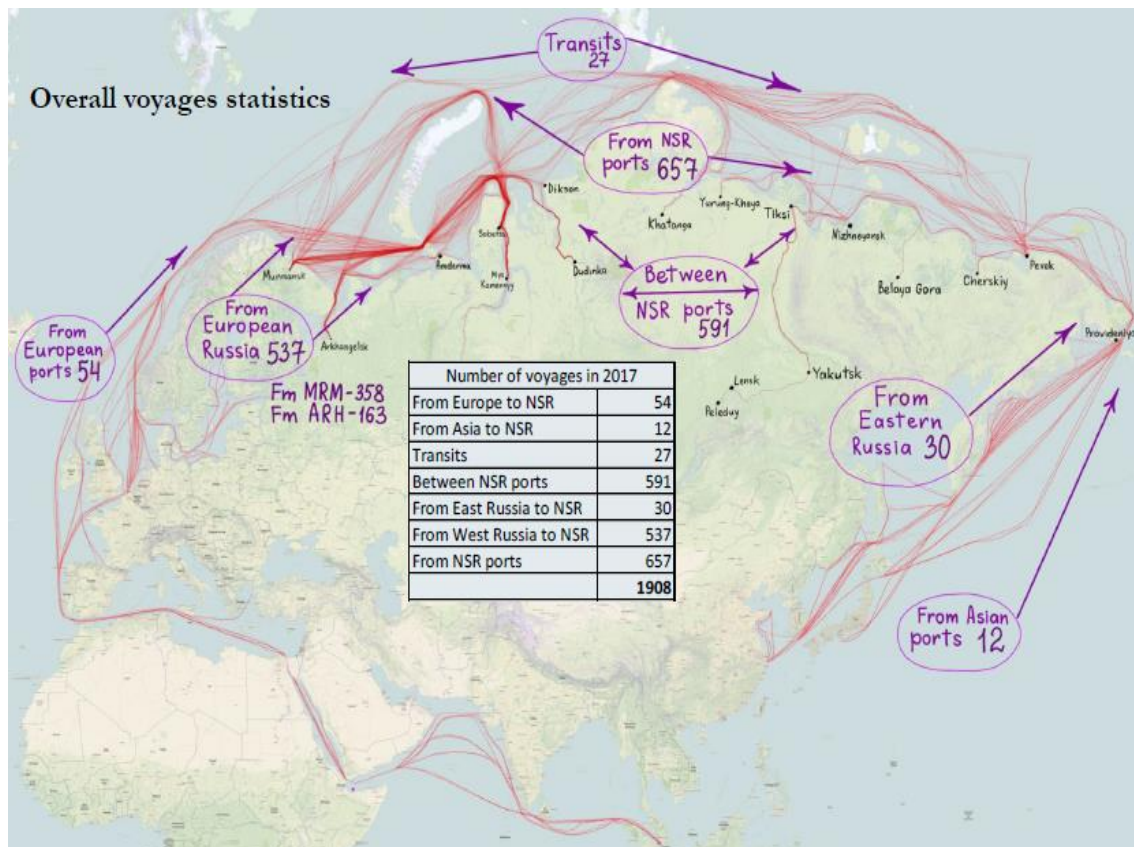


Ilustración 28: Clasificación viajes en 2017. Fuente: NSR Administration

Para el año 2017, como se puede ver se clasifican los viajes según su origen, dividiéndolos entre los que han salido de Europa y los que han salido de Asia, siendo los primeros los más significativos.

El número de tránsitos totales es de 27 buques, se encuentra dentro de los parámetros normales.

Como podemos ver la mayoría de recorridos se han efectuado entre puertos de la ruta del Mar del norte.

En el año 2016 pasaron 19 buques por el Mar del Norte según los datos oficiales recogidos por el organismo noruego Centre for High North Logistics.

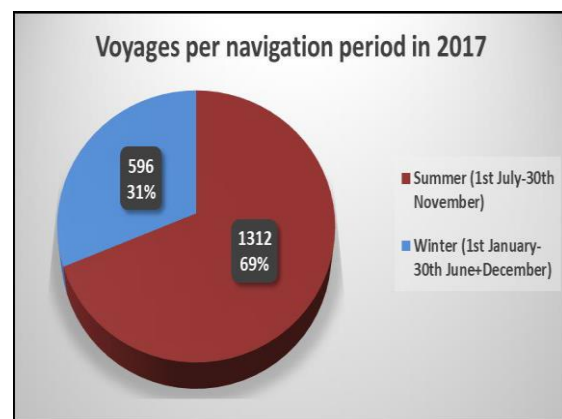
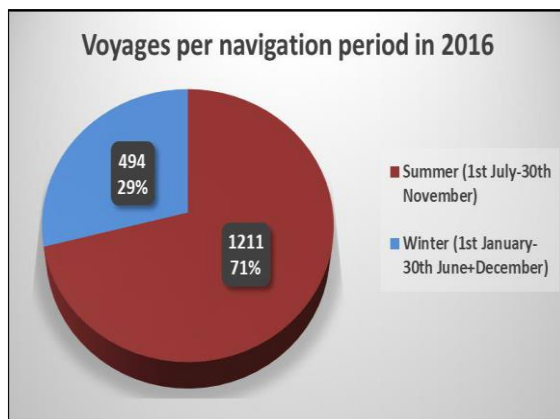
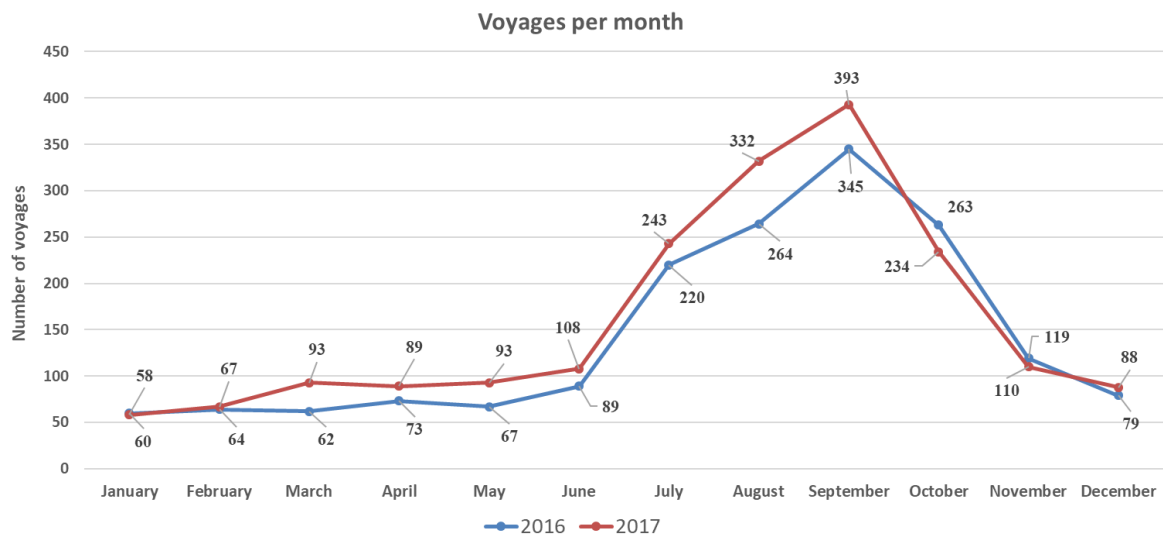


Ilustración 29: Gráficos de los viajes realizados en los años 2016 y 2017. Fuente: NSR Administration

En el conjunto de gráficos anteriores se observa el número de viajes realizados en los años 2016 y 2017, clasificados por meses. Como se puede ver los meses de verano son en los que se realizan más viajes. En concreto una media del 70% de los viajes se realizan en verano frente al 30% en invierno.

Además, podemos observar que el número de viajes se mantiene bastante estable con un total de 1705 viajes en 2016 y 1908 en 2017.

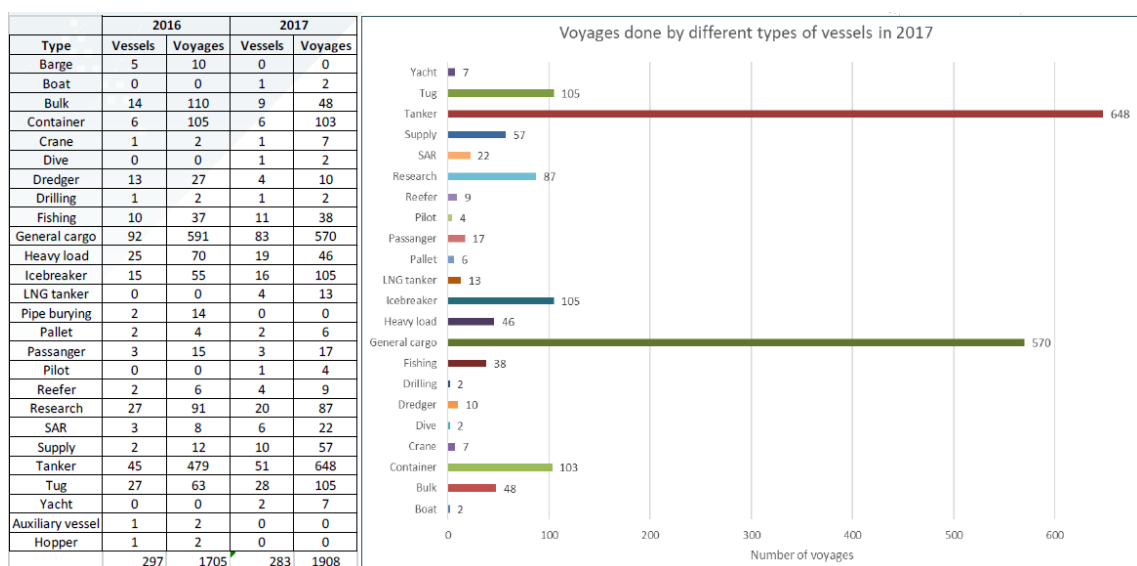


Ilustración 30: Clasificación según el tipo de buque. Fuente: NSR Administration

En las anteriores gráficas observamos que los buques tanques se mantienen como los más frecuentes en las aguas del Ártico, seguidos por los de carga a granel y los remolcadores.

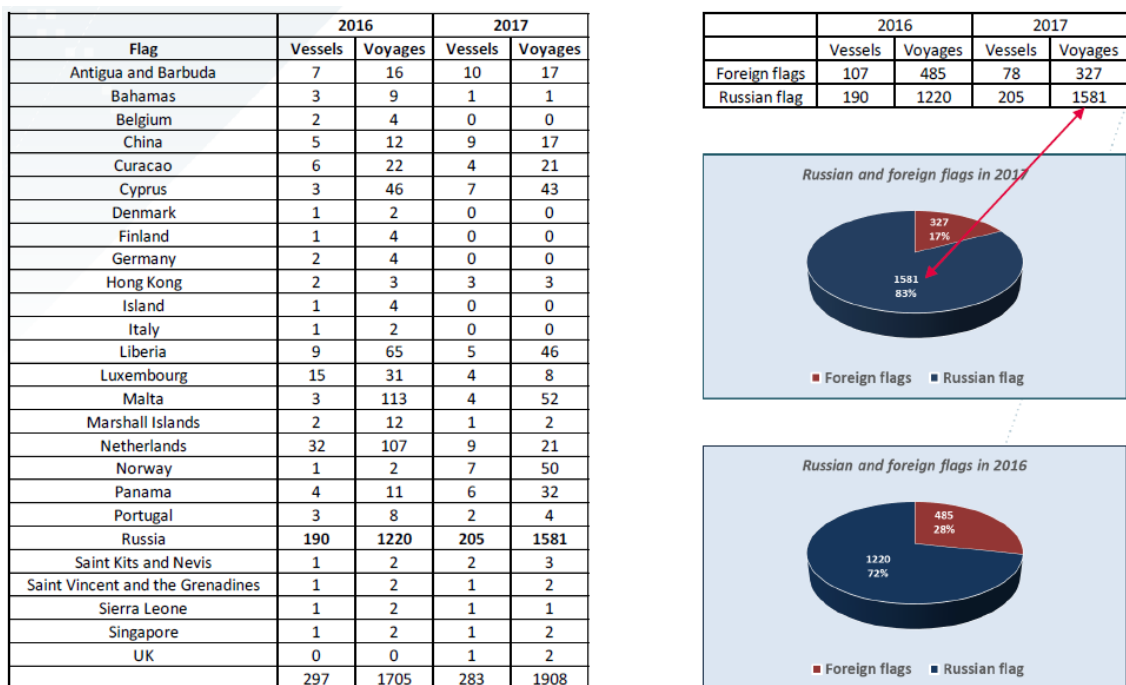


Ilustración 31: Clasificación de los buques que navegan en la ruta del Mar del Norte según pabellón. Fuente: NSR Administration.

En esta clasificación vemos todas las banderas de buques que han transitado la ruta del Mar del Norte en los años 2016 y 2017. Igual que en los anteriores años Rusia es la bandera más común seguida de Holanda, Luxemburgo y Liberia en 2016. Y Antigua y Barbuda, China y Holanda en 2017.

Además, se constata que tanto en el año 2016 como en el 2017 aproximadamente el 80% de los buques eran rusos frente al 20% restante que eran banderas de otros países.

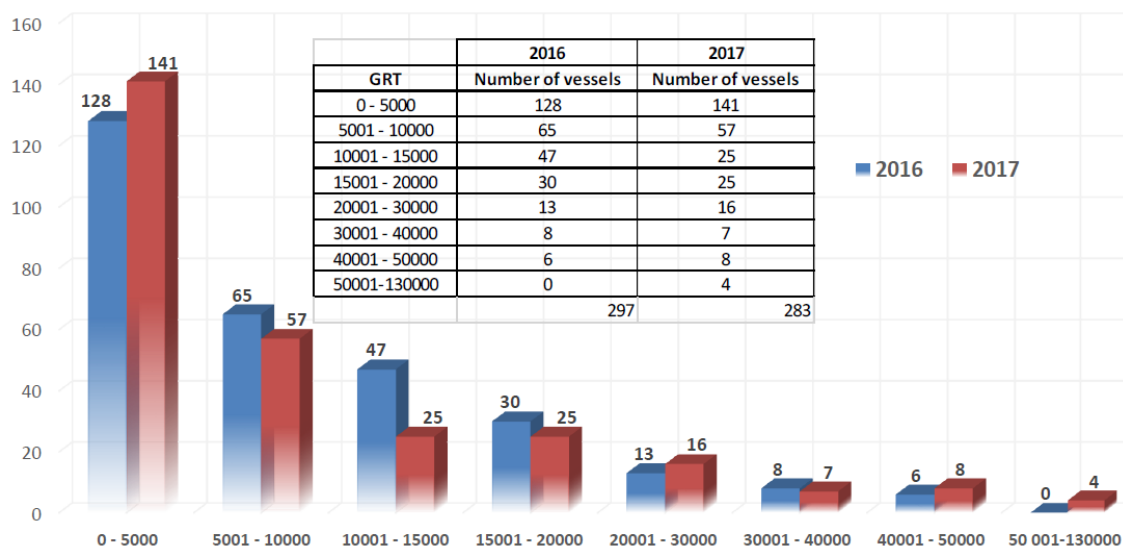


Ilustración 32: Clasificación según tonelaje de los Buques. Fuente: NSR Administration.

En esta última gráfica de los años 2016 y 2017 se clasifican los buques según su tonelaje de registro bruto o GRT de sus siglas en inglés Gross Register Tonnage.

Como se puede ver los datos para ambos años son parecidos y existe una tendencia a navegar con buques pequeños, de no más de 5000 GT.

Año 2018

Para terminar con este capítulo dedicado al estudio estadístico de los tráficos en la región Ártica nos centraremos en el año 2018.

Los datos aportados han sido extraídos de la CHNL (Centre for High North Logistics). Estos datos han sido clasificados y estudiados por investigadores de la NORD University.

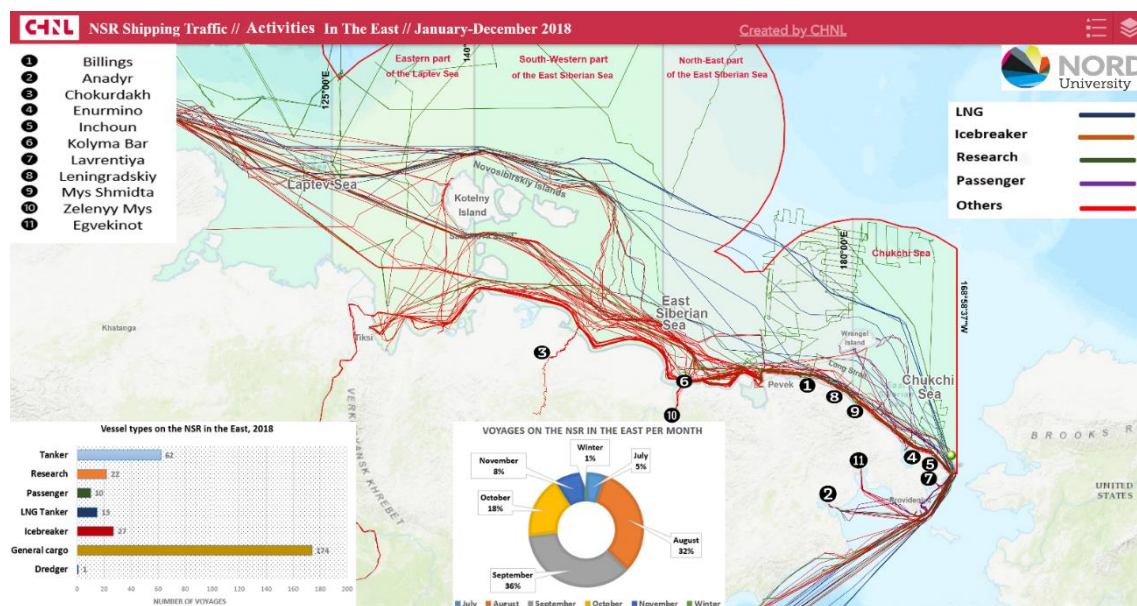


Ilustración 33: recopilación de todos los viajes del 2018. Fuente: CHNL

De la anterior imagen extraemos que los meses más frecuentes de viajes son septiembre y agosto que representan un tercio de los viajes cada uno, mientras que el otro tercio se divide entre los meses de octubre, noviembre y julio. Los viajes en invierno representan un 1% del total.

En cuanto al tipo de buques en el 2018 hay un cambio sustancial, pues los buques tanque caen al segundo lugar por detrás de los buques de carga general.

En este caso no nos indican cuantos son los tránsitos totales realizados ni las banderas de los mismos. Seguramente no han sido introducidos al sistema todavía.

4.3. Navegaciones significativas

Son muchas los buques mercantes que han realizado navegaciones que se han llevado a cabo por las distintas rutas de la región del Ártico desde que está se empezará a usar con fines comerciales. Pero últimamente están siendo las grandes compañías las que están apostando por estas vías marítimas.

A continuación, se recogerán las más significativas de estas navegaciones.

4.3.1 Navegación Venta Maersk

El buque porta contenedores Venta Maersk ha concluido con éxito su viaje a través de la ruta marítima del norte, llegando a la ciudad rusa de San Petersburgo el pasado viernes 28 de septiembre, después de 37 días de viaje, tras haber partido el 22 de agosto del puerto de Vladivostok, en la costa rusa del océano Pacífico.

Palle Laursen, Director Técnico de Maersk celebraba la llegada del buque con estas palabras: “Estamos muy contentos de dar la bienvenida a la tripulación y al barco sanos y salvos después de este viaje único. Este viaje de prueba nos ha permitido obtener una experiencia operacional excepcional, probar los sistemas del buque, las capacidades de la tripulación y la funcionalidad de la configuración del soporte en tierra”.

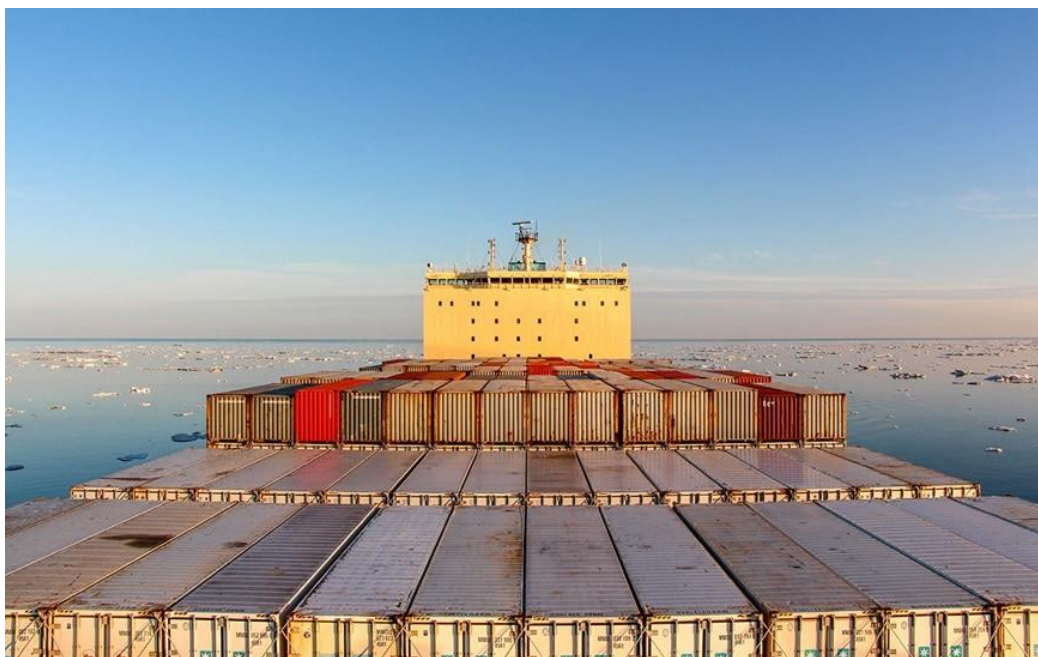


Ilustración 34: El portacontenedores Venta Maersk surcando aguas árticas. Fuente: Maersk

El viaje se desarrolló según el plan de la compañía y sin ningún incidente. A pesar de ser un entorno desconocido, tanto el buque como sus sistemas funcionaron perfectamente. Aunque el cambio climático ha hecho factible esta ruta, el hielo en el mar de Siberia Oriental hizo necesaria la asistencia de buques rompehielos.

Maersk había tomado todas las medidas necesarias para asegurar que el viaje de prueba se realizaba con las más altas consideraciones en seguridad para la tripulación, la carga, el buque y el medio ambiente. Durante el viaje la compañía se mantuvo en contacto continuo con la Administración de la Ruta del Mar del Norte y con armadores de rompehielos.

Para Maersk, el objetivo de este viaje era obtener experiencia operacional y probar los sistemas del buque. Para Palle Laursen, Maersk “no ve la Ruta del Mar del Norte como una alternativa comercial viable frente a las rutas existentes a través del Índico y el canal de Suez. En general, planificamos nuevos servicios de acuerdo con los patrones de comercio, los centros de población y la demanda de nuestros clientes. Dicho esto, la compañía sigue el desarrollo de la Ruta del Mar del Norte. Hoy, el viaje solo es posible durante tres meses al año, lo que podría cambiar en el futuro. Además, debemos tener en cuenta la necesidad de que los buques que utilicemos para esta ruta deben de estar clasificados con la cota de hielo, lo que significa una inversión adicional”.



Ilustración 35: Buque Venta Maersk atracado en el puerto de San Petersburgo. Fuente: Maersk

El Venta Maersk pertenece a la nueva clase de porta contenedores bálticos de la compañía, unos de los buques clasificados con cota de hielo más grandes del mundo y contruidos para operar en aguas a hasta -25 grados centígrados. Con una capacidad nominal de 3.596 TEUs, están preparados para transportar 600 contenedores refrigerados.

El buque, entregado el 11 de julio de 2018, es el cuarto de una serie de siete. Los demás buques de la clase pertenecen a la compañía Sealand (una filial de Maersk) que opera en Rusia. Entre las características especiales del diseño de estos buques se encuentran la cubierta del castillo cubierta para realizar las tareas de amarre de manera segura, así como los alerones del puente cerrados para una maniobra en puerto más segura.

El timón y la hélice de estos buques han sido optimizados para reducir el consumo de combustible, combustible que cumple todos los requisitos para poder navegar en las zonas ECA de baja emisión de gases establecidas por la IMO. El buque continúa estos días su viaje a Bremerhaven (Alemania), su destino final.

Esta noticia ha sido extraída de la página web VA DE BARCOS, en su publicación del 02/10/2018 firmada por Juan A.Oliveir

4.3.2. Navegación Tian En de COSCO (China Ocean Shipping Company)

El buque de carga ‘Tian En’, perteneciente a COSCO SHIPPING Specialized Carriers, ha navegado desde el puerto chino de Lianyungang hasta el holandés de Eemshaven utilizando la ruta del Ártico.

Con un cargamento de equipos de energía eólica con destino a Francia, los Países Bajos y Suecia, el ‘Tian En’ inició la travesía el 4 de agosto en el puerto de Lianyungang, en la provincia de Jiangsu al Este de China, y cruzó el Estrecho de Bering el 17 de agosto para iniciar en este punto su primer viaje por el Paso Noreste del Ártico, la ruta de navegación del Mar del Norte y que se extiende entre el Océano Pacífico y el Océano Atlántico a lo largo de la costa norte de Rusia.

El ‘Tian En’ fue diseñado y construido ahora hace un año para poder romper el hielo y navegar por las latitudes del Norte del globo terráqueo.



Ilustración 36: El buque Tian En cargando en el puerto de Lianyungang. Fuente: COSCO

También denominada Ruta de la Seda Polar, este trayecto marítimo que conecta Asia y Europa a través del Océano Ártico es la única ruta de las tres existentes que está abierta a la navegación comercial. Asimismo, este recorrido es mucho más corto y seguro que el tradicional que pasa por Océano Índico y el Canal de Suez.

Ante la posibilidad que durante la navegación el 'Tian En' encontrara algún iceberg, se estuvo en permanente contacto con la flota de rompehielos rusos por si hubieran sido necesarios sus servicios.

Tras cruzar el Ártico, el 'Tian En' llegó el 5 de septiembre al puerto francés de Rouen, en donde descargó 37.000 metros cúbicos de equipos eólicos. El 9 de septiembre recaló en el puerto holandés de Eemshaven y el 15 de septiembre lo hizo en Suecia; ahora navega de regreso a China cargado con mercancía procedente de Europa.

Para COSCO SHIPPING, la ruta del Mar Ártico ofrece la posibilidad de reducir el tiempo de tránsito entre puertos chinos y europeos en unos 12 días, según las condiciones marítimas. Además, permite alcanzar un ahorro de combustible de hasta unas 300 toneladas.

Ya en 2013, el portacontenedores 'Yong Sheng' de COSCO SHIPPING fue el primer buque de este tipo que navegó a través del Paso Noroeste; en 2017, la naviera ya hizo navegar diez buques en 14 viajes por esta ruta del Ártico que une China y Europa. A lo largo del verano de este año, más de diez buques de COSCO SHIPPING también han navegado por esta agua ártica.

El tráfico de carga a lo largo del Paso Noroeste ha aumentado recientemente debido a la participación conjunta de Rusia y China en el proyecto de gas natural licuado (GNL) en la península de Yamal. El primer cargamento Yamal LNG, que navegó por el Mar Ártico hasta el puerto chino de Jiangsu Rudong, se entregó en el mes de julio.

La política de navegación desplegada por COSCO SHIPPING en el Ártico se fundamenta en el respeto por el medio ambiente. Por ello, todos los buques de la compañía que transitan por estas aguas polares cumplen con las directrices de las convenciones internacionales en lo que concierne a evitar la contaminación; así todos los desechos generados a bordo se clasifican y tratan de forma adecuada para que este itinerario sea la 'Ruta Verde de la Seda Polar'.

También cabe destacar que China está desplegando su política ártica que implica intensificar la cooperación con otros países para establecer conjuntamente la Ruta de la Seda Polar, que se considera el tercer eje de la Iniciativa Belt and Road y concebida para impulsar las relaciones comerciales de China con unos 70 países en Asia, Europa y África. Así pues, la navegación marítima por el Ártico viene a sumarse a las otras rutas que pasan por el Mar Meridional de China, el Océano Índico, el Mediterráneo, el Pacífico Sur y Oceanía.

Este artículo ha sido extraído de la página web de COSCO Shipping

4.3.3. Navegación del buque Eduard Toll de la compañía Teekay

La compañía naviera Teekay, especializada en el transporte de combustibles, es propietaria del buque Eduard Toll que en enero realizó la primera navegación en invierno por el Paso del Norte sin la asistencia de rompehielos.

El Eduard Toll es el cuarto de los 15 Arc7 preparados para transportar gas natural licuado (LNG) construidos por NOVATEK.

El viaje se realizó desde Corea del Sur hasta la terminal de Sabetta en la península de Yamal (al norte de Rusia), y desde allí navegó hasta Montoir para entregar la carga de gas natural licuado.



Ilustración 37: Buque Eduard Toll navegando en el Ártico.

Fuente: LNG World News

4.3.4. Navegación del Christophe de Margerie de la compañía SFC

El pasado agosto el buque Christophe de Margerie, de 130.000 GT aproximadamente que fue botado el año 2017 y se trata de un LNG transportó una carga de gas natural licuado desde Hammerfest (al norte de Noruega) hasta Boryeong (en Corea del Sur).

El barco cubrió la ruta completa por primera vez sin la ayuda de un buque rompehielos (en este caso era en verano) y en una velocidad récord. El recorrido entre Noruega y Corea del Sur lo hizo en 19 días, una duración un 30% más corta que la navegación convencional por el sur, a través del itinerario por el canal de Suez.



Ilustración 38: Buque Christophe de Margerie navegando en el Ártico. Fuente: BBC

4.4. Conflictos políticos

El gobierno del Ártico se basa en gran medida en la jurisprudencia nacional sobre el Ártico de Naciones Unidas UNCLOS, al mismo tiempo que aplica los tratados bilaterales regionales e internacionales.

Según la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS), los estados costeros tienen derechos soberanos sobre los recursos en el agua y en el fondo marino dentro de una Zona Económica Exclusiva (ZEE) de 200 millas. Sin embargo, el artículo 76 de la

Convención permite a los estados costeros extender sus derechos soberanos hasta 350 millas náuticas desde su línea costera si pueden probar que las crestas submarinas del lecho marino del Ártico son una extensión de la propia plataforma continental del país. Las naciones tienen diez años después de su ratificación de UNCLOS para presentar sus reclamaciones sobre las plataformas continentales extendidas.

Los conflictos que existen en la región polar Ártica son de diversa índole dado que son muchos los agentes en juego, pues no hay que olvidar que son ocho estados ribereños con intenciones de explotar: pesca, minerales subterráneos, petróleo, gas y turismo.

Estos estados son: Canadá, EE UU, Dinamarca (por Groenlandia), Rusia, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia.

Como ya se ha comentado son muchos los conflictos que suscita esta región entre los países, pero el que ataja a este trabajo tratan sobre la navegación y son los que se enumeraran a continuación:

La ruta Marítima del Norte o del Mar del Norte, se encuentra en gran parte en las aguas territoriales rusas. Todo y así existen tensiones geopolíticas causadas en parte por la crisis ucraniana. Las sanciones económicas impuestas a Rusia han provocado considerables obstáculos a la cooperación internacional.

La ruta del Paso del Noroeste se encuentra en gran parte en aguas territoriales canadienses, esto aparentemente no constituye disputas políticas prominentes. Sin embargo, hay algunas cuestiones aún sin reconciliar relacionadas con el control del Paso. En Estados Unidos no reconoce la soberanía de Canadá sobre el Paso del Noroeste debido a su diferente enfoque sobre la convención de las naciones unidas sobre el derecho del mar.

Esto significa que EE UU considera el Paso una vía de navegación internacional, mientras que Canadá lo considera un archipiélago dentro de sus aguas nacionales.

La ubicación geográfica remota de la Ruta del Mar Transpolar, que se encuentra en el Mar Ártico en alta mar fuera de la jurisdicción nacional de los estados litorales del Mar Ártico y por lo tanto, se rige por el Artículo UNCLOS 87 que afirma que las aguas situadas más allá de los límites de las

ZEE son de libre navegación, la ha mantenido alejado de la esfera de interés de cualquier acto político.

Sin embargo, la tensión política puede aumentar, si las reclamaciones de Rusia u otros estados del Ártico sobre la extensión de su zona económica exclusiva son aceptados por el tribunal de las Naciones Unidas.

En 2001, Rusia fue el primer estado ribereño ártico en presentar una reclamación. La Comisión de las Naciones Unidas para la Plataforma Continental solicitó una revisión detallada con datos científicos que respaldaran la declaración de Rusia.

Dinamarca y Canadá disputan la propiedad de la isla Hans en el estrecho de Nares entre la isla Ellesmere y Groenlandia.

El 27 de abril de 2017, Noruega y Rusia anunciaron el fin de su disputa sobre el Mar de Barent que había durado más de 40 años en el Mar de Barents. Desde entonces comenzaron las negociaciones y se espera un futuro desarrollo energético conjunto.

Los límites marítimos entre Canadá y los Estados Unidos en el mar de Beaufort y entre Canadá y Dinamarca en la bahía de Baffin siguen estando en disputa.

Existen además disputas entre Dinamarca (Groenlandia), Rusia y Canadá en referencia a la plataforma continental extendida sobre la Lomonosov Ridge, una cadena montañosa submarina que cruza la cuenca del Ártico central.

A pesar de las controversias, es poco probable que las reivindicaciones territoriales influyan en el desarrollo del transporte marítimo a lo largo de las rutas del Mar Ártico. En 2008, los cinco distritos litorales del Ártico confirmaron su compromiso con la UNCLOS firmando la declaración Ilulissat.

5. Código internacional de seguridad para buques que operen en aguas polares (Código Polar)

En este apartado, como indica su nombre, se va a introducir el Código Polar con un breve resumen de la normativa elaborada por la OMI acerca de la seguridad de los buques que navegan en zonas polares. Pero antes se van a comentar otras de las normativas que afectan a la navegación en estas aguas.

La normativa aplicable en las zonas polares es muy extensa. Si nos centramos en la normativa internacional las leyes más importantes son las siguientes:

- **UNCLOS:** Marco normativo que rige los derechos y responsabilidades de las naciones en su uso de los espacios marinos. El Artículo 234 establece que *“los Estados ribereños tienen derecho a dictar y hacer cumplir leyes y reglamentos no discriminatorios para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino causada por buques en las zonas cubiertas de hielos dentro de los límites de la zona económica exclusiva...”*. Estados Unidos no ha ratificado UNCLOS.
- **Tratado Antártico:** El Tratado, hecho en Washington el 1 de diciembre de 1959, ha garantizado el uso de la Antártida exclusivamente para fines pacíficos. Desde su entrada en vigor, el 23 de junio de 1961, 46 países lo han firmado, de los cuales 28 son Partes Consultivas y 18 son Partes No Consultivas que no participan en la toma de decisiones.
- **SOLAS:** Safety of Life at Sea (OMI)
- **MARPOL:** Marine Pollution (OMI)
- **STCW:** Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (OMI)
- **Requisitos Unificados de la IACS para buques de clase polar**
- **Código Internacional de Seguridad para Buques que Operen en Aguas Polares**

El Código Polar y las enmiendas del SOLAS y MARPOL entraron en vigor el 1 de enero de 2017. Siendo la primera normativa referente a la navegación en los polos hecha por esta organización.

“...El Código polar y las enmiendas al SOLAS se adoptaron en el 94º periodo de sesiones del Comité de seguridad marítima (MSC), en noviembre de 2014. Las enmiendas al MARPOL se adoptaron en el 68º periodo de sesiones del Comité de protección del medio marino (MEPC), en mayo de 2015...” según publica la OMI en su página web.

Resumen del Código Polar

El Código polar trata todos los agentes involucrados en las navegaciones por aguas de las zonas polares.

Estos agentes se numeran a continuación:

- Proyecto
- Construcción
- Equipos del buque
- Operativa del buque
- Formación de la tripulación
- Búsqueda y salvamento
- Prevención de la contaminación

El Código polar obliga a Certificar los buques que navegan en aguas polares o que vayan a hacerlo, en una clasificación según en las condiciones que vayan a operar.

Esta clasificación esta detallada en el apartado de este mismo trabajo titulado: Características que deben cumplir los buques que navegan en las regiones polares.

Para que se otorgue el certificado de buque polar este se deberá someter a un examen para seccionarse que cumple con los requisitos de la clasificación que desea obtener.

En este examen se examinarán:

- Limitaciones operacionales específicas, además de los planes,
- Procedimientos o equipo de seguridad adicional necesario
- Manual de operaciones en aguas polares

En los distintos capítulos del Código Polar se recogen recomendaciones y normas de funcionamiento y operativa como, por ejemplo:

- estructura del buque
- compartimentado y estabilidad
- la integridad estanca al agua e integridad estanca a la intemperie
- instalaciones de máquinas;

- seguridad operacional
- seguridad y protección contra incendios
- dispositivos y medios de salvamento
- seguridad de la navegación; comunicaciones
- planificación del viaje
- dotación y formación
- prevención de la contaminación por hidrocarburos
- prevención de contaminación por sustancias nocivas líquidas procedentes de los buques
- prevención de la contaminación por las aguas sucias de los buques
- prevención de la contaminación por descarga de las basuras de los buques.



Ilustración 39: Guía OMI. Fuente: OMI

Requisitos de formación de la tripulación de buques que naveguen en aguas polares

En el Capítulo 12 del Código internacional de seguridad para buques que operen en aguas polares se titula: Dotación y formación.

En este capítulo la OMI traslada la responsabilidad de contratar capitanes y oficiales encargados de las guardias de navegación a las compañías. Pues deberán ser estas las que verifiquen que sus capitanes y oficiales hayan recibido formación específica para llevar a cabo con éxito y seguridad sus tareas en las navegaciones en aguas polares.

Motivos que impulsaron a la creación del código polar

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, el cambio climático y sus consecuencias, como el deshielo, están provocando un incremento de las navegaciones polares. Estas se llevan a cabo, sobre todo, en verano. Este tipo de navegaciones implican unos riesgos particulares y por lo tanto se han de tomar en cuenta ciertas consideraciones ambientales y de seguridad especiales, que no están contempladas en las otras normas de la IMO.

Estos riesgos son desde las malas condiciones climatológicas, la falta de buenas cartas de navegación, falta de sistemas de comunicación y otras ayudas a la navegación, etc.

Por otra parte, el hecho de que sean zonas remotas hace que las operaciones SAR (Search and Rescue) o de limpieza de vertidos y otras contaminaciones sean difíciles y caras.

Además, las bajas temperaturas hacen que baje la eficiencia del buque y sus componentes como pueden ser la maquinaria, equipos de emergencia, etc.

O el hielo cuando se forma sobre las cubiertas y estructura del barco, el sistema de propulsión y apéndices del buque.

Por lo tanto, este Código internacional para los buques que operen en aguas polares (Código polar) hace hincapié en todos estos detalles.

Desde la fase de diseño, supervisando el proyecto, pasando por la construcción, selección del equipo, formación de las futuras tripulaciones, operaciones SAR y la protección del medio marino.

La introducción de un código obligatorio se hizo a raíz de la adopción, por parte de la Asamblea de la OMI en 2009, de las Directrices para los buques que operen en aguas polares

Protección de la Antártica contra los derrames de hidrocarburos

En marzo de 2010 el Comité de protección del medio marino adoptó una regulación del convenio MARPOL para proteger la Antártida de la contaminación por hidrocarburos pesados. Esta entro en vigor el 1 de agosto de 2011.

Esta regulación prohíbe transportar cargas a granel de crudos e hidrocarburos específicos, asfalto, alquitrán y sus emulsiones.

Además, en el Código Polar se pide a los buques no utilizar ni transportar hidrocarburos pesados en el Ártico.

Planificación del viaje en áreas remotas

Dado que en los últimos años se ha incrementado el número de viajes en crucero en las zonas polares y remotas en general, se adoptó en 2007 las Directrices sobre planificación del viaje en los buques de pasaje que naveguen en áreas remotas. Cuando se prepara un plan de viaje en estas áreas se ha de hacer especial atención a las condiciones medioambientales de estas y las limitaciones de recursos e información náutica que se tendrán.

En este plan tendrá que haber:

- zonas seguras
- zonas que deben evitarse
- corredores marinos que hayan sido objeto de un levantamiento
- planes para contingencias si no hay medios SAR cerca

Si estas navegaciones se hacen en el Ártico o Antártico se tendrán que añadir los siguientes elementos:

- condiciones en las que no sea seguro entrar en zonas con hielos o témpanos debido a la oscuridad,
- el mar de fondo
- la niebla y
- el hielo comprimido
- distancia de seguridad con respecto a los témpanos
- presencia de hielo y témpanos
- velocidad de seguridad en esas zonas.

Sistema de notificación para buques en la región ártica

Dada la peligrosidad de ciertas zonas y peligrosidad para la navegación de las mismas, la OMI decidió en noviembre de 2012 adoptar un sistema de comunicación obligatorio que debían tener aquellos buques que navegaban en el Ártico, más concretamente en la zona de Barents. Este sistema fue propuesto por Noruega y Rusia) y entró en vigor en el año 2013, más concretamente en junio.

Este sistema es aplicable a:

- Buques de más de 5000GT
- Todos los buques tanque
- Aquellos que transporten mercancías peligrosas
- Buques remolque si el cable de remolque es mayor a 200m
- Los buques sin gobierno o maniobrabilidad restringida



Ilustración 40: Guía OMI. Fuente: OMI

6.Características buques de navegación polar

Los buques que navegan en regiones polares, tanto en el Ártico como en el Antártico deben cumplir ciertos requisitos técnicos especificados para prevenir los riesgos específicos que existen en estas áreas de navegación.

Por este motivo la IACS (Asociación Internacional de Clasificación de Clases) ha creado una clasificación conocida como Clase de Navegación Polar donde hay siete clases polares. Empieza por la PC1 que son aquellos buques que pueden navegar todo el año y en todos los tipos de agua cubiertas de hielo, y acaba con la PC7 que contempla únicamente aquellos buques que naveguen en verano con hielo delgado de primer año con trozos de hielo viejo.

REQUISITOS UNIFICADOS DE LA IACS PARA BUQUES DE CLASE POLAR:

En vigor desde marzo de 2008. Establece los requisitos estructurales y de la maquinaria para la navegación polar y reflejando las limitaciones operacionales de los buques y su resistencia según el tipo y la extensión del hielo.

Clase Polar	Descripción
PC 1	Navegación durante todo el año en todo tipo de aguas cubiertas de hielo
PC 2	Navegación durante todo el año en condiciones moderadas de hielo de varios años
PC 3	Navegación durante todo el año en hielo del segundo año que puede incluir trozos de hielos de varios años
PC 4	Navegación durante todo el año en hielo grueso del primer año que puede incluir trozos de hielo viejo
PC 5	Navegación durante todo el año en hielo medio del primer año que puede incluir trozos de hielo viejo

PC 6	Navegación en verano u otoño en hielo medio del primer año que puede incluir trozos de hielo viejo
PC 7	Navegación en verano u otoño en hielo delgado del primer año que puede incluir trozos de hielo viejo

Tabla 2: Descripción Clases Polares. Fuente: Propia

En la anterior tabla podemos ver las siete diferentes clases con sus características. Estas especificaciones pretenden ser una guía para los armadores, arquitectos navales y compañías para que seleccionen la clase polar que se adecua a sus necesidades en las misiones o viajes que vaya a emprender la nave.

La OMI ha aprobado las directrices y las adopto el 2 de diciembre de 2009 en asamblea.

Las especificaciones que debe cumplir cada buque según su clasificación se recogen en la Parte A del Código Polar, el de construcción, e incluye los capítulos 2-9 especificados a continuación:

PARTE A – CONSTRUCCIÓN

Capítulo 2 – Estructuras

Capítulo 3 – Compartimentado y estabilidad

Capítulo 4 – Alojamientos y medidas de evacuación

Capítulo 5 – Sistemas de control de la dirección

Capítulo 6 – Medios de fondeo y de remolque

Capítulo 7 – Máquinas principales

Capítulo 8 – Sistemas de máquinas auxiliares

Capítulo 9 – Instalaciones eléctricas

7.Problematika navegación polar

El deshielo que se está produciendo en los últimos años en los polos debido al cambio climático. Está generando, además de impactos muy negativos para el planeta tierra, oportunidades en ambos polos, Ártico y Antártico.

En el Ártico estas oportunidades están enfocadas, sobre todo, a la industria y el comercio marítimo debido a la apertura de las rutas de navegación árticas en los meses de verano. Estas rutas recortan las distancias entre Europa y Asia respecto a las rutas de los canales, tanto Suez como Panamá. Además de eso no hay que olvidar la gran cantidad de recursos minerales y energéticos que hay en la región Ártica y que cada vez son más accesibles.

En el otro hemisferio encontramos la región Antártica, que, si bien es verdad, no es tan interesante a nivel comercial e industrial. Tiene un sector turístico muy potente que genera miles de visitantes cada año atraídos por la belleza y majestuosidad de sus parajes. Otra de las actividades que se llevan a cabo en la Antártida es la investigación.

De todas maneras, estas nuevas zonas de navegación crean una problemática debido a los riesgos para la seguridad y el medioambiente que entrañan. Algunos de los principales riesgos para la seguridad de la navegación y los costes ambientales son los mismos y se pueden clasificar en cuatro distintos:

- **Factores medioambientales: al tratarse**
- **Factor humano**
- **Áreas remotas**
- **Condiciones ambientales**

Los problemas derivados de estos cuatro puntos son muy variados. Dentro de los factores medioambientales tenemos que pensar en la fragilidad de estos ecosistemas y de la importancia que tiene su estabilidad y equilibrio para la vida tal como la conocemos en la tierra por lo tanto se debe tener muy presente la contaminación en estas regiones y se debe tratar de que sea mínima una tarea nada fácil.

Además, se debe formar una tripulación de manera específica para navegar en estas aguas, pues son muchos los riesgos añadidos de navegar en los polos. Que se incrementan por tratarse de una zona remota lejos de los medios de rescate SAR y sin infraestructuras.

Los medios de ayuda a la navegación también son una barrera a la navegación polar, pues actualmente los servicios de información meteorológica y de hielos son escasos, los sistemas VTS, la cartografía no está actualizada...

8. Principales medios de ayuda a la navegación polar

El Código Polar en el Apartado B, Capítulo 12 define los Aparatos náuticos con los que deben contar los buques que realicen navegaciones en aguas polares.

En mi opinión estas especificaciones son un poca ambiguas, pues no concretan los aparatos que debe llevar el buque exactamente, pero si se puede extraer una idea.

A continuación, se refleja la lista que proporciona la OMI:

- **12.2. Compases:** los buques deberán tener al menos un girocompás
- **12.2 Medición de la velocidad y la distancia:** todos los buques deberán mínimo dos medios de medición de velocidad y distancia. Que funcionen con sistemas distintos, que pueden medir la velocidad respecto al agua y respecto al fondo.
- **12.3 Dispositivos de ecosonda:** como mínimo dos dispositivos eco sonda
- **12.4 Instalaciones de radar:** dos sistemas radar, uno con frecuencias 3 GHz, banda
- **12.5 Sistemas electrónicos de determinación de la situación y cartas náuticas electrónicas:** como mínimo una carta electrónica y GPS o GLONASS o equivalente
- **12.6 Sistema de identificación automática (AIS):** Todos los buques deberían contar con un sistema de identificación automática.
- **12.7 Indicadores del ángulo de metida del timón**
- **12.8 Proyectores y señales visuales:** como mínimo dos proyectores que no se congelen y que iluminen de forma suficiente para atracar o realizar remolques.
- **12.9 Medios para mejorar la visibilidad:** los buques deberán llevar equipos de eliminación de hielo en un mínimo de ventanas del puente para que la visión de proa y popa sea posible en todo momento.

“12.11 Equipo de recepción de cartas meteorológicas y de hielos

12.11.1 Todos los buques deberían contar con equipo capaz de recibir cartas meteorológicas y cartas de hielos.

12.11.2 Todos los buques que naveguen en aguas polares deberían contar con equipo que pueda recibir y presentar visualmente imágenes de los hielos.”

Fragmento extraído de la normativa

Conclusiones

Una vez conocemos todos los Aparatos Náuticos que exige el Código Polar vamos a hacer especial hincapié en el Capítulo 12.11 sobre Equipo de recepción de cartas meteorológicas y de hielos y más especialmente en el punto 12.11.2 que dice lo siguiente: *Todos los buques que naveguen en aguas polares deberían contar con equipo que pudiera recibir y presentar visualmente imágenes de hielos.*

En este punto se va a introducir el objeto de este trabajo que es el sistema de monitorización del hielo e icebergs mediante el sistema SAR de sus siglas en inglés Synthetic Aperture Radar.

Pues podría encajar muy bien en este punto del código y sería una herramienta nada despreciable para mejorar la seguridad en las navegaciones en las zonas donde haya hielo marino.

Así pues, en los siguientes capítulos se hablará tanto de las propiedades del hielo como del sistema SAR.

9. Propiedades hielo

9.1 Parámetros de las grandes masas de hielo definidos por la OMM

La terminología del hielo marino ha sido estandarizada por la Organización Mundial Meteorológica (WMO, de sus siglas en inglés World Meteorological Organization), que estableció una nomenclatura y un código para la producción de mapas de hielo.

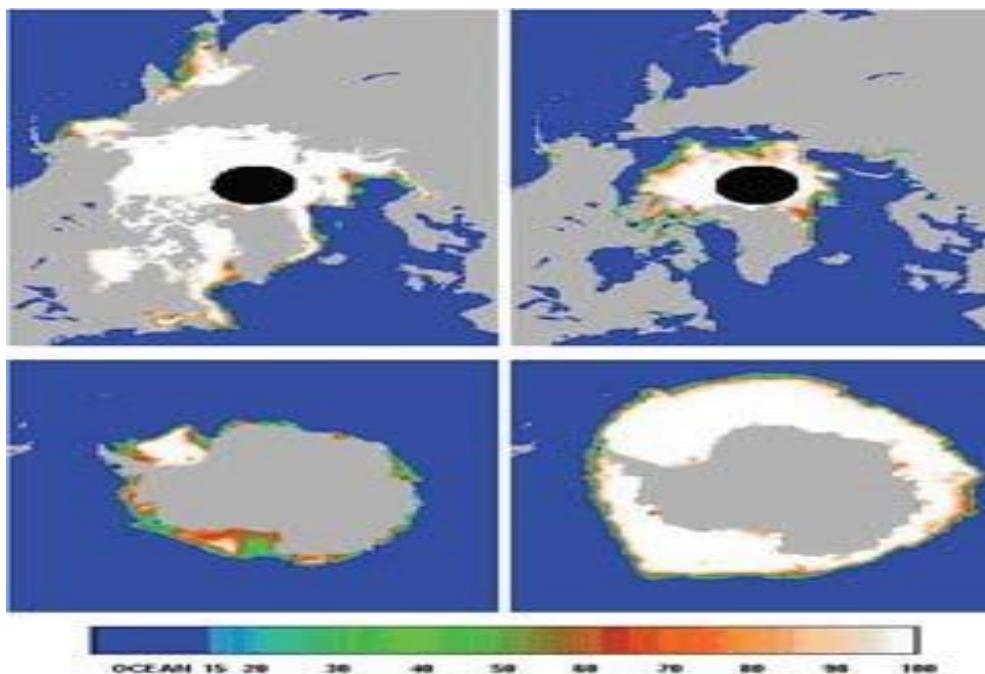


Ilustración 41: Mapas de hielo que expresan máximos y mínimos de la extensión de hielo del mar del Ártico arriba y del Antártico abajo.

La nomenclatura de la OMM fue definida para las grandes masas de hielo marino y por lo tanto no incluye las características de las estructuras de hielo en escalas de cm a mm. Las propiedades en esta escala son importantes para la interacción de señales remotas de detección con la superficie de la nieve-hielo.

La principal razón de estas deficiencias es que la nomenclatura de la OMM fue definida en 1970, cuando ningún modelo operativo sobre el hielo existía todavía, ni se disponía de datos de alta resolución por satélite, se tenía muy pocos datos sobre el espesor de hielo, tamaño del **témpano (iceberg)** y distribución de la cresta. El código, claramente, tiene como objetivo mostrar las observaciones visuales y principalmente cualitativas, por ejemplo, tomadas a bordo de un buque. Por lo tanto, no es posible que un solo código sobre el hielo satisfaga todos los requisitos que se demandan. Por esto, a partir del inicio del uso del sistema SAR y otras nuevas técnicas de observación de hielo, se prevé que se desarrollen nuevos códigos de hielo.

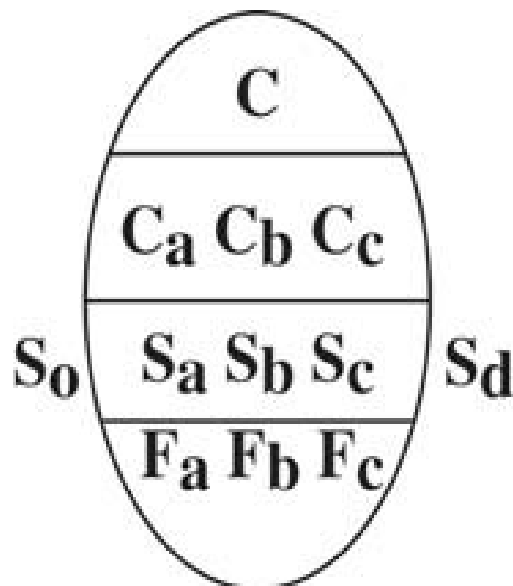


Ilustración 42: Código de hielo marino desarrollado por la OMM

9.2. Tabla definitoria del Código del hielo de la OMM

C_t	Total concentration of ice in area, reported in tenths.				
$C_a C_b C_c$	Partial concentration in tenths of thickest (C_a), second thickest (C_b) and third thickest (C_c) ice types with C_a , C_b and C_c 1/10 or more. If only one thickness type is present, it equals C and the second level is left blank.				
$S_a S_b S_c$	Stage of development (age) of ice concentration reported by C_a , C_b and C_c .				
$F_a F_b F_c$	Predominant form of ice (floe size) corresponding to S_a , S_b and S_c , respectively.				
$S_o S_d$	Development stage (age) of remaining ice types. S_o , if reported, is a trace of ice type thicker/older than S_a . S_d is a thinner ice type that is reported when there are four or more ice thickness types.				
$F_a F_b F_c$	Form of ice	Width	$S_a S_b S_c$	Stage of development	Thickness
0	Pancake		1	New	< 10 cm
1	Brash		2	Nilas	< 10 cm
2	Ice Cakes	< 20 m	3	Young	10-30 cm
3	Small floe	20-100 m	4	Gray	10-15 cm
4	Medium floe	100-500 m	5	Gray-white	15-30 cm
5	Big floe	500-2000 m	6	First year	> 30 cm
6	Vast floe	2-10 km	7	Thin first-year/ White	30-70 cm
7	Giant floe	> 10 km	1.	Medium first-year	70-120 cm
8	Fast ice		4.	Thick first-year	> 120 cm
9	Icebergs		7.	Old	
X	No Form		8.	Second year	no
C	Ice in strips in which concentration is C		9.	Multiyear	defined ranges
				Icebergs	

Tabla 3: Definiciones del Código

9.3. Estructura de hielo de pequeña escala y su crecimiento

Una descripción completa de la congelación del hielo, de la fusión de este, de los principales procesos físicos responsables, de la gran variabilidad estacional en la extensión del hielo del mar y su volumen, debe comenzar con una introducción de la estructura de la molécula de H₂O y como esta varía en su transición de fase entre sólida y líquida. El hecho de que el agua sólida tenga menor densidad que el agua líquida implica que el hielo marino flote en el océano. En este caso únicamente se describirán aquellas propiedades que tengan un efecto directo para la motorización remota.

Los parámetros físicos básicos del hielo del mar son la temperatura, la salinidad, la estructura cristalina que contiene salmuera (agua con una alta concentración de sal disuelta) y aire, la rugosidad de la superficie, la capa de nieve, y la presencia de agua líquida sobre el hielo, que con frecuencia se produce en verano cuando la nieve se derrite sobre la superficie del hielo. Puesto que el hielo marino está formado por la congelación del agua salada, hay efectos importantes de la sal que actúan durante el proceso de congelación; una parte de la sal se libera del hielo una vez este ya está formado y se crean bolsas de salmuera de diferentes tamaños del 6 al 10% de sal, siempre que este hielo este formado de agua de mar que tiene una salinidad aproximada del 35%. La salmuera se drena gradualmente desde la parte superior del hielo, pudiendo llegar a tener una baja salinidad inferior al 1% en la capa superficial.

En la primera etapa de congelación, se forma hielo de frazil que son pequeños cristales de hielo que se quedan en la superficie de la masa. La congelación continua y se van creando más cristales de hielo, estos coagulan entre ellos y se forma lo que es conocido como grasa de hielo. El **hielo de grasa (grease ice)** y el **Frazil (frazil ice)** amortiguan las pequeñas ondas de gravedad en la superficie del mar, esto tiene un impacto significativo en la detección remota del radar en aguas abiertas. Si la congelación continua su curso sin perturbaciones de las olas, se forma una capa consolidada de hielo elástico. Cuando esta capa es de menos de 10 cm de espesor se le llama naila. A medida que crece su grosor y pierde elasticidad se le pasa a nombrar hielo gris, entre 10 y 15 cm, seguidamente cuando el grosor es de entre 15 y 30 cm se le pasa a llamar hielo blanco. El proceso de drenaje de la salmuera reemplaza gradualmente las bolsas de esta por aire que varía el aspecto visual de las nailas negras a hielo gris/blanco, que es significativamente positivo para la detección remota del hielo.

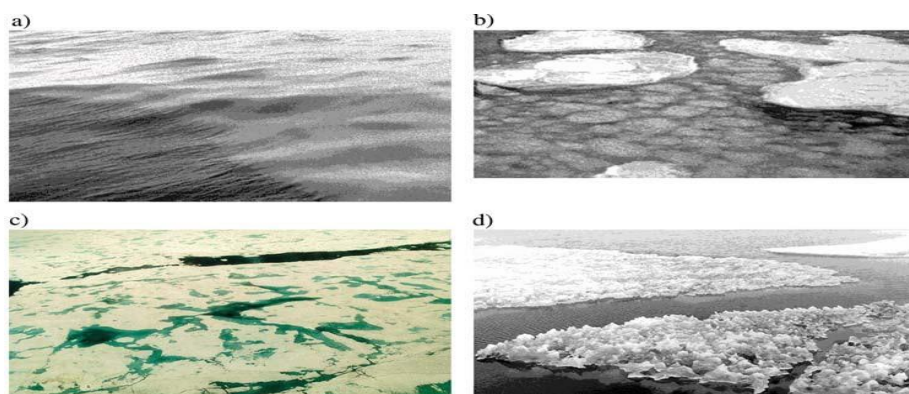


Ilustración 43: Fotos hechas durante la formación y la fusión del hielo marino a) hielo grasoso donde se ve las pequeñas olas que este genera. b) tortitas que varían entre 20 cm – 2m de diámetro c) piscinas sobre el hielo del mar que se forman durante el verano d) fus

Cuando el viento y las olas afectan en el proceso de congelación, que es la situación cotidiana en las zonas de hielo, el hielo de grasa forma "tortitas", que son pequeños témpanos de hielo elástico con un tamaño de entre 30 cm y 1m de diámetro. El efecto de las olas provoca continuos choques entre los témpanos generando el levantamiento de los bordes, normalmente de entre 5-20 cm. Los bordes de las "tortitas" dispersan eficientemente las ondas del radar utilizadas para la tele detección del hielo marino.

Además de los procesos termodinámicos (congelación y fusión) y los efectos del contenido de sal, existen unas importantes fuerzas mecánicas, que actúan sobre el hielo, procedentes del viento y de las corrientes oceánicas que hacen que la cubierta del hielo sea convergente o divergente. La convergencia provoca estrías y quillas sumergidas, mientras que la divergencia genera pequeñas vías de agua y **polinias (polynyas)**. La superficie de vías y polinias normalmente consiste en aguas abiertas o hielo fino (nilas o hielo gris), que son detectables por los métodos de detección más remota si la resolución espacial es suficientemente buena. La variabilidad, en la superficie del hielo, de la rugosidad, de las estrías u otros procesos, tales como, la formación de tortitas se observa más adecuadamente con radar, puesto que la retrodispersión del radar genera un buen contraste entre el hielo áspero y el liso.

En la mayoría de zonas, el hielo marino es cubierto por capas de nieve. Este hecho tiene un gran impacto en el método de detección remoto, especialmente en los métodos visuales donde la capa de nieve determina la superficie **albedo**. La nieve es bastante transparente para las microondas de teledetección a menos que la nieve esta mojada, o haya varias capas de separadas por hielo fino. En regiones con una alta densidad de nevadas, como la zona de Groenlandia Oriental, puede ocurrir que el hielo se vea cubierto por grandes cantidades de nieve mojada, hecho que causa que los témpanos sean inundados por agua de mar. En este caso las señales microondas de teledetección cambian. En la interfaz nieve-hielo, la nieve es rápidamente recristalizada, que tiene también un efecto en el retorno de la señal radar.

La capa de nieve sufre un ciclo estacional. Durante la temporada de invierno, desde finales de otoño a la primavera, la temperatura es muy inferior a los 0°C tanto para la nieve como para el hielo, la nieve se vuelve seca y prácticamente transparente para las microondas. A finales de primavera y a principios de verano, debido a las temperaturas cercanas a los 0°C la nieve se humedece eventualmente creando "piscinas" en la interfaz nieve-hielo. Ya en plena estación veraniega las temperaturas son positivas y se derrite la nieve y la capa superior de hielo. En los periodos de fusión intensa, gran parte de la superficie del hielo se cubre de "piscinas". (en la imagen superior c, se observa este fenómeno). Para las microondas de teledetección la cantidad de agua en la superficie del hielo es uno de los factores más críticos, mientras que para la teledetección óptica el albedo de la superficie es más favorable.

Los valores típicos de los albedos son 0,8 para la nieve, 0,6 para el hielo seco y 0,2 para el hielo cubierto de agua. El albedo es un parámetro clave para el control de la radiación entrante y determina la tasa de derretimiento de la superficie de nieve y hielo. Los principales factores que determinan las propiedades de las microondas en el nuevo hielo, el hielo de principios de año, el hielo multianual y el hielo de verano están ilustrados en la siguiente imagen.

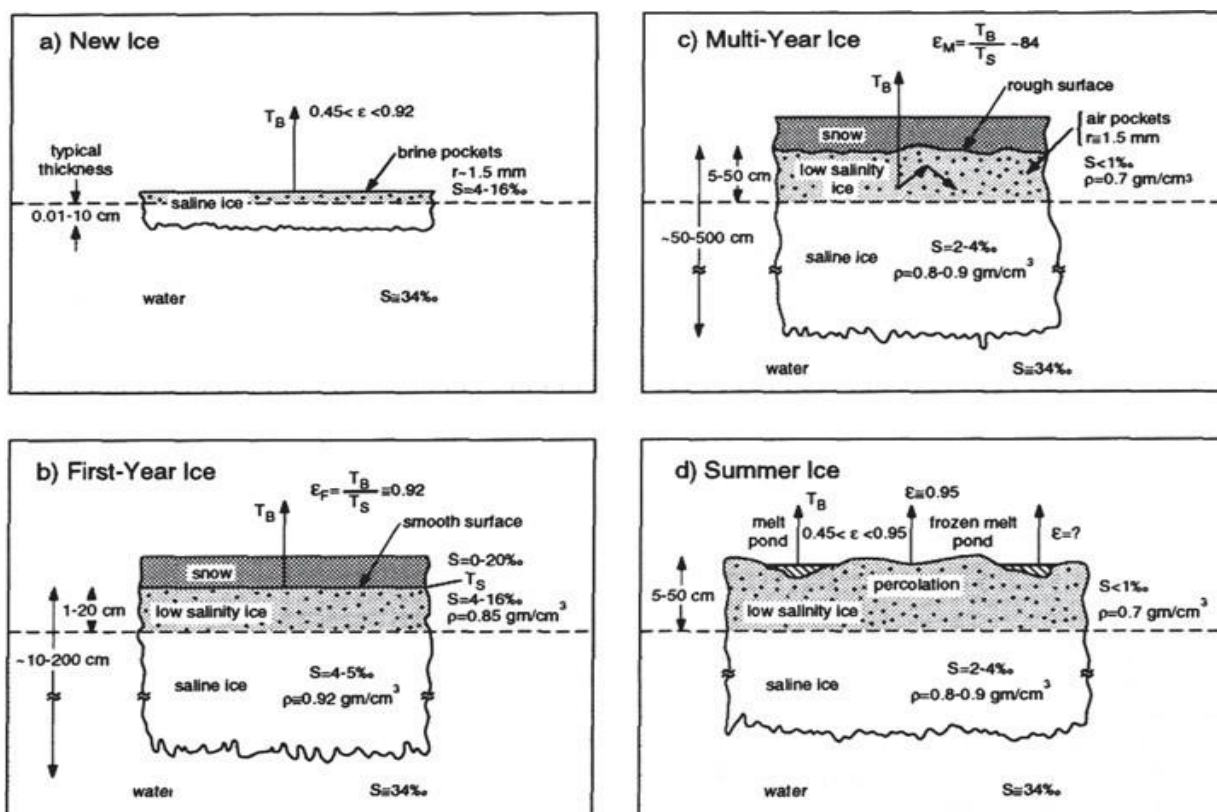


Ilustración 44: Cuatro tipos diferentes de hielo y los factores físicos que tienen un impacto en las propiedades de las microondas: TB: brightness temperature; S: salinity; g: emissivity; D: density. Source:

Al principio de la temporada de invierno, todo el hielo que sobrevive a la temporada de verano se convierte en hielo multianual. La capa superior (el primer metro) de un témpano de varios años es más resistente, tiene una salinidad más baja y es ópticamente más transparente que un témpano de primer año. Las crestas de un témpano de varios años son más antiguas, redondeadas y suaves en comparación con las de un témpano de primer año. Las zonas más suaves son causa de la recongelación de las "piscinas" que han sido cubiertas por la nieve. La baja salinidad de la capa superior del hielo multianual hace posible la diferenciación entre el hielo multianual y el de primer año a través de la microondas de teledetección en invierno.

Esta diferenciación no es posible en la temporada de derretimiento, debido a que el agua y la nieve mojada que se encuentra sobre el hielo. Otro fenómeno de importancia para la detección remota durante el invierno es la formación de **flores de hielo** en climas fríos en la parte superior delgada del hielo, conocida como la highsaline. Estos cristales, que tienen unas dimensiones de unos cm, causan una señal muy alta de retrodispersión (**backscatter**) de radar.

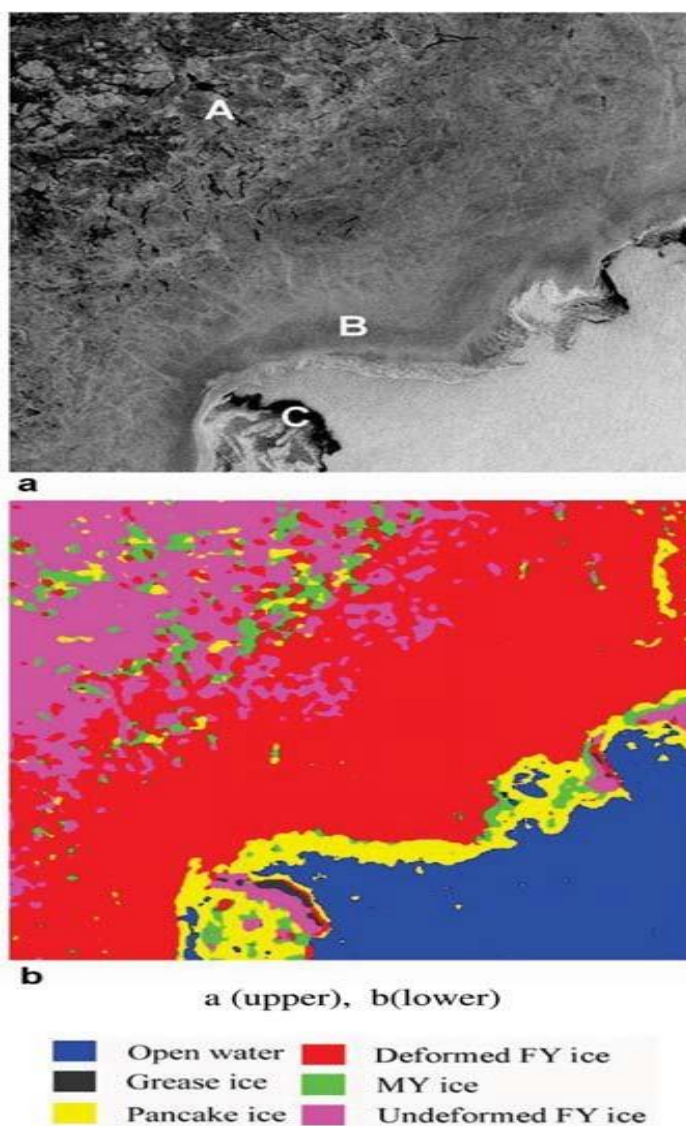


Ilustración 45: a) Ejemplo de una imagen del ERS-1 SAR, que cubre un área de 100km x 100km b) Resultado de la clasificación de los tipos de hielo marino con SAR. Clasificaciones de tipos de hielo marino y aguas abiertas con imágenes SAR (azul: mar abierta; gris: hielo)

9.4 Las propiedades electromagnéticas del hielo, la nieve y las superficies de agua

Las más importantes propiedades electromagnéticas de cualquier superficie son la reflexión y la emisión. Esta última, expresada por un coeficiente adimensional denominado **emisividad (emissivity)**, que puede ser extraído de la constante dieléctrica compleja (o la constante dieléctrica) $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$, que caracteriza las propiedades eléctricas del medio. ϵ' se conoce como la constante dieléctrica y ϵ'' como el factor de pérdida dieléctrica. Alternativamente, se puede estimar ϵ del Índice de refracción complejo, n donde $n^2 = \epsilon$. El coeficiente de reflexión r se define como:

$$r = |(n-1)/(n+1)|^2$$

la **constante dieléctrica (relative permittivity)** junto con la rugosidad de la superficie del blanco, determina la emisividad. La dependencia estacional de emisividad del hielo del mar para el hielo de primer año y hielo multianual se ilustra en la siguiente imagen.

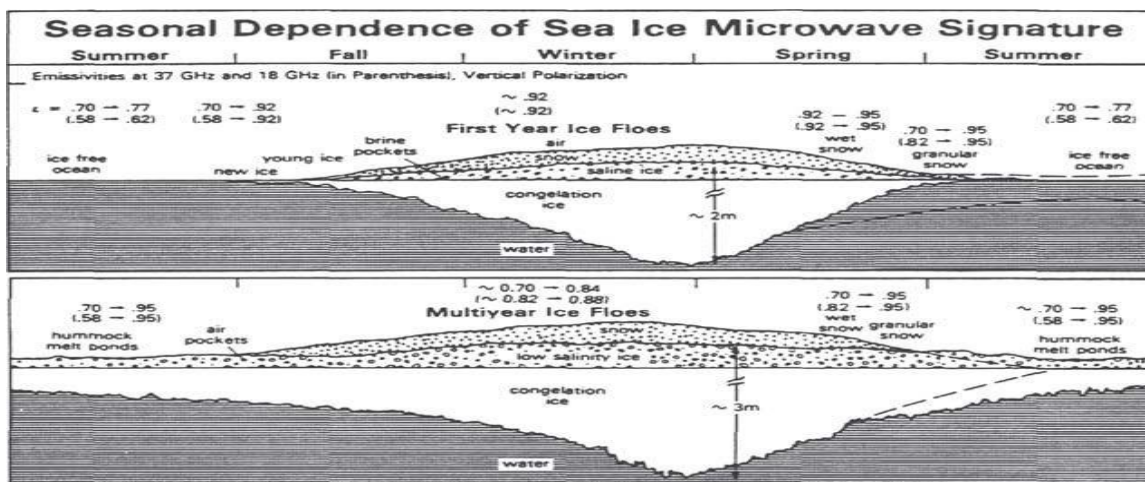


Ilustración 46: En esta imagen se muestra la emisividad estacional del hielo del Ártico para 18 y 37Hz que son las frecuencias más importantes utilizadas para estimar la concentración de hielo.

10. Sistema SAR: Synthetic Aperture Radar

10.1. Introducción al SAR

Como ya se ha comentado anteriormente, el hielo marino crea las mayores barreras al tráfico marino tanto en las latitudes más altas del ártico como en el antártico. Las grandes áreas de hielo marino suelen quedar excluidas de rutas comerciales como de zonas de pesca por su peligrosidad y difícil navegación.

Aunque existen los buques rompehielos o de casco reforzado que, si pueden desplazarse a través de zonas con hielo, siguen teniendo problemas a la hora de penetrar zonas de alta presión y concentración de hielo.

En enero de 2014 el barco rompehielos chino, dedicado a la investigación, Snow Dragon, quedó atrapado en un grueso témpano de hielo después de una misión internacional de rescate en la que participó. Este caso destapó un alto revuelo sobre la deriva de hielo en el mar polar y la seguridad de la navegación en las áreas polares.

Teniendo en cuenta el movimiento y la potencial destrucción de las masas de hielo, los instrumentos convencionales in-situ están limitados a observaciones oceanográficas y meteorológicas en las zonas polares.

Todo y así los movimientos de los hielos marinos se pueden estimar de forma aproximada por medio de boyas derivando junto con al hielo, estaciones de hielo derivantes o buques oceanográficos. Estas estimaciones, pero, solo aportan datos de baja resolución espacial y de bajo alcance a nivel científico. Las imágenes de sensores remotos son más claras y son un método alternativo muy atractivo.

El hecho de que sean necesarias imágenes satélite secuenciales para la estimación de la deriva del hielo marino, y además separadas por al menos un par de días, hace que solo las imágenes obtenidas con barrido de alta frecuencia de datos se puedan usar para este fin. Las imágenes remotas de los satélites en **órbita heliosíncroica (Sun-synchronous orbit)** por los polos se han convertido en una técnica muy importante de monitorización de los movimientos del hielo polar en altas latitudes.

Los métodos que usan imágenes visibles o infrarrojos no son los adecuados a causa de las nubes que cubren las zonas a estudiar, además de por la noche polar, así como por la resolución espacial pasiva de las imágenes generadas por microondas, que generalmente son demasiado gruesa. Entre todos los tipos de sistemas de radar aplicados a satélites, el radar de apertura sintética (SAR) con órbita polar heliosíncrona es el preferido para controlar la dinámica del hielo marino gracias a su elevada resolución, amplia franja y su alta frecuencia de datos.

La dinámica de hielo marino se puede determinar mediante el análisis de las imágenes SAR por el método de la correlación cruzada que se presentará más adelante. El software, denominado SAR-ICE, con interfaz gráfica de usuario, se ha desarrollado mediante el uso de programación en lenguaje C++, que es un lenguaje básico de programación, el cual ha sido enseñado en nuestro grado en la asignatura de Informática.

Además de que el cálculo de la correlación cruzada es rápido, el software tiene integradas gran variedad de funciones para mejorar la estimación de la deriva del hielo marino. Por lo tanto, la deriva del hielo marino mediante la mesoescala de movimiento dinámico puede derivarse claramente de los resultados analizados.

10.2.Definición

En español se conoce como el Radar de Apertura Sintética, se trata de un tipo de sistema que se acopla a los radar.

Este sistema procesa información con algoritmos, la información procesada es recogida por la antena del radar. Este sistema lo que hace es combinar la información que se recoge en cada barrido de la antena y la combina toda recreando un solo barrido virtual. Con este método lo que se consigue es un rendimiento equiparable al de un radar con una antena muy grande y directiva, teniendo una antena pequeña y poco directiva. Antiguamente el uso de este sistema se limitaba para ocasiones en las que los blancos se movían relativamente poco a poco, como por ejemplo aviones, y el radar se encontraba en movimiento.



Ilustración 47: satélite OKAN-O lanzado por Rusia, equipado con la tecnología SAR.

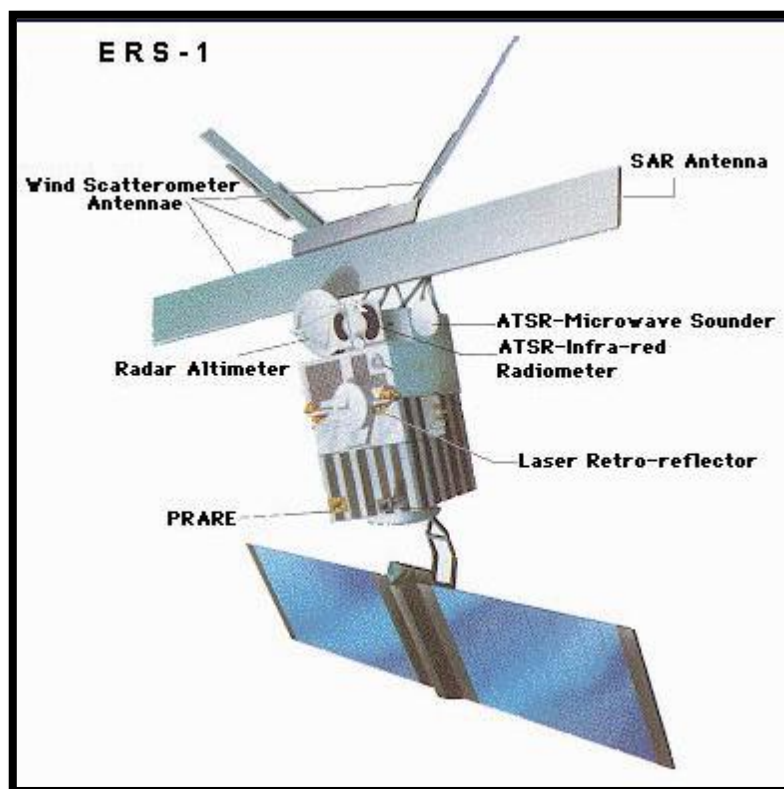


Ilustración 48: Satélite ERS-1 con tecnología SAR, dejó de estar en servicio en 1996

10.3. Principios de adquisición de imágenes del SAR

Por radar de apertura sintética se entiende ese radar que es activo y emite la energía en el intervalo de frecuencias de microondas es decir en períodos de tiempo pequeños y seguidamente recibe los ecos que rebotan (reflexionan) de la señal en los objetos y dan lugar a una apertura sintética, en resumen, como la velocidad del vehículo espacial que los porta es muy alta (7,5 Km/s + o -) la antena del sistema SAR tiene las propiedades de una antena de más tamaño. El blanco se queda en el haz de la antena durante unos instantes y es observado por el radar desde varios puntos a lo largo de parte de la trayectoria del satélite. Es decir, se aumentan sus prestaciones sin modificar sus características físicas. Para conseguir los mismos resultados en un radar convencional se debería aumentar la longitud de la antena.

A consecuencia del desplazamiento del satélite se da el efecto Doppler, si este se considera, la resolución acimutal mejora notablemente. Dos blancos cualesquiera con una dirección acimutal ligeramente distinta tendrán como resultado velocidades relativas distintas (respecto al radar), por esta razón los ecos que nos da cada blanco tendrán un desplazamiento en frecuencia Doppler diferente. El dispositivo SAR se instala, normalmente, a bordo de un satélite (los SAR dedicados a la monitorización del hielo están instalados en satélites) o de un avión. El proceso

para obtener los datos a través del Radar de Apertura Sintética es de una alta complejidad dado el alto volumen de información que corresponde a cada una de las imágenes. El resultado de este laborioso procesado son imágenes de tonos grises de 100 x 100 Km con unas resoluciones que rondan los 25 m (ERS) y 12,5 m y 200m (RADARSAT) por cada píxel. Estas variaciones se deben al tipo de radar y las necesidades de cada usuario.

10.4. Historia del SAR

Las primeras imágenes obtenidas mediante la tecnología del SAR fueron de un satélite de la NASA llamado SEASAT, esto fue en el año 1978. A partir de entonces se han ido desarrollando dispositivos mejorados con la misma base del sistema SAR original.

En los últimos tiempos los satélites lanzados a órbita más conocidos son:

- JERS-1 (NASA/NASDA)
- RADARSAT de RADARSAT International (RSI) de la Canadian International Development Agency (CIDA), NASA y NOAA (es el que opera en las latitudes polares y el objeto de estudio de este trabajo)
- ERS-1/2 de la Agencia Espacial Europea ESA

Países como India, Japón y Rusia han participado activamente en el desarrollo técnico de la obtención de imágenes por SAR.

El evento más reciente relacionado con la tecnología SAR ha sido el lanzamiento del ENVISAT satélite lanzado por la ESA el día 1 de marzo del 2002 y que cuenta con el sistema Advanced Synthetic Radar (ASAR), su gran característica es que permite graduar la resolución de la imagen dependiendo del modo en que se trabaje.

Fecha de lanzamiento: 21 de abril de 1995. Vehículo espacial: Ariane V72.
Plataforma: MMS Spot (Mark 1).
Período de tiempo de funcionamiento programado: 3 años.
Órbita: 785 Km. Inclinación: 98.6°. Período de rotación 100,5 min.
Masa: 2500 kg. Longitud: 11.8 m. Antena del SAR: 10 x 1 m.
Resolución máxima de imagen: 26 metros en un píxel.
Anchura de franja superficial de obtención de imágenes: 99 Km.
Período de adquisición de imagen del mismo punto: 35 días.
Misión: adquisición de imágenes SAR de alta resolución en cualquier condición meteorológica, 24 horas del día, de tierra y de océano; monitoreo de fenómenos medioambientales y provocados mediante actividades antropogénicas (Figura 2.3.2).

Ilustración 49: Datos técnicos del ERS-2 satélite con dispositivo SAR



Ilustración 50: reproducción virtual del satélite ENVISAT en su órbita polar.

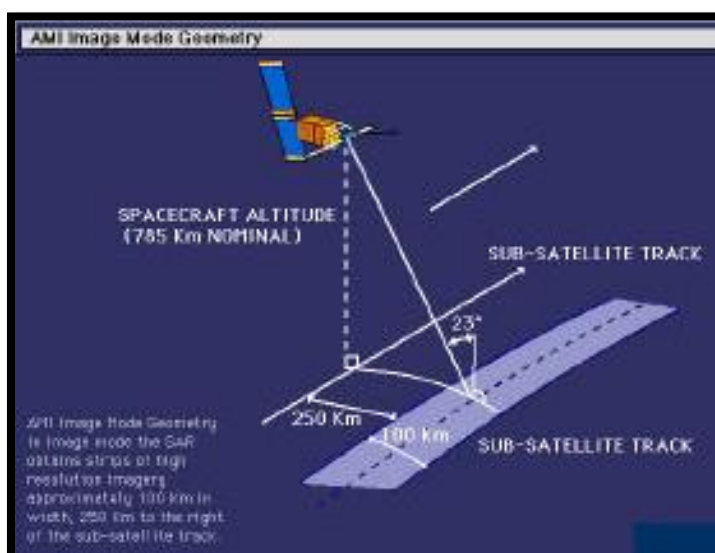


Ilustración 51: imagen que nos muestra un esquema del funcionamiento de adquisición de imágenes del satélite ERS-1.

10.5. Los satélites más importantes que cuentan con la tecnología SAR

Año	Satélite	Dispositivo	Franja, km	Resolución m/píxel
1991 - 2000	ERS-1	AMI/SAR	100	30
1992-1998	JERS-1		75	18
1995 ->	RADARSAT-1		100-170	25-100
1995 ->	ERS-2	AMI/SAR	100	30
2001	ENVISAT	ASAR	100-400	10-1000
2003	RADARSAT-2		100-170	25-100

Tabla 4: Los satélites más importantes que cuentan con la tecnología SAR

10.6. Condiciones para la predicción y medición de fenómenos medioambientales con tecnología SAR

Como en todos los sistemas radar, el SAR emite ondas, pero en este caso son cortas y de solo unos centímetros. La señal que se recibe varía su intensidad en función de la

Rugosidad, a pequeña escala de la superficie. Si la superficie reflectora es rugosa y tiene pendientes pequeñas comparables con la longitud de la onda emitida por la señal del radar, se observará difracción. Si estudiamos el comportamiento de las ondas en el mar, vemos que la señal emitida por el SAR a través de los trenes de las ondas capilares o de pequeña altura (entre 0,1 mm y 10 cm) se suman, por lo tanto, se produce una dispersión resonante conocida como: dispersión Bragg.

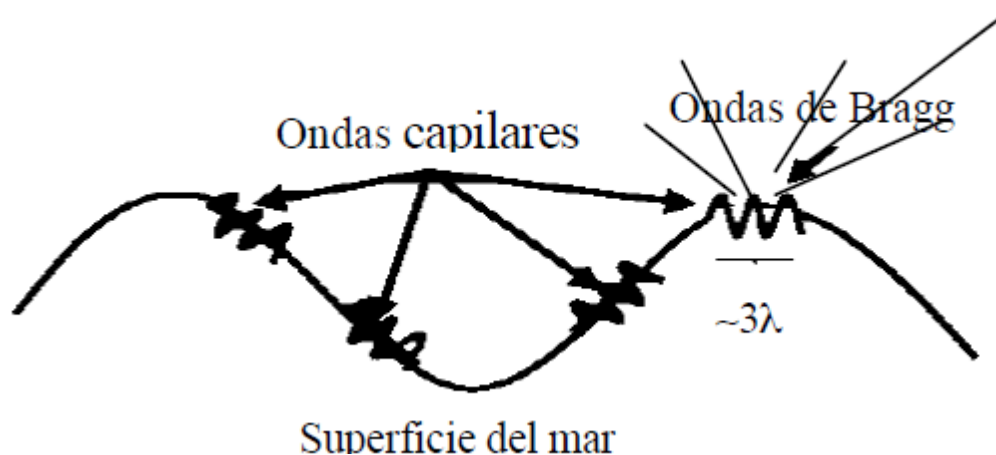


Ilustración 52: Dispersión resonante Bragg

En la imagen vemos una superficie marina de grises, tirando a blanco, esto se debe a que hay olas pequeñas. Si estas olas no estuviesen no se produciría resonancia y por lo tanto en la imagen se vería una superficie más oscura que se acercaría más al negro.

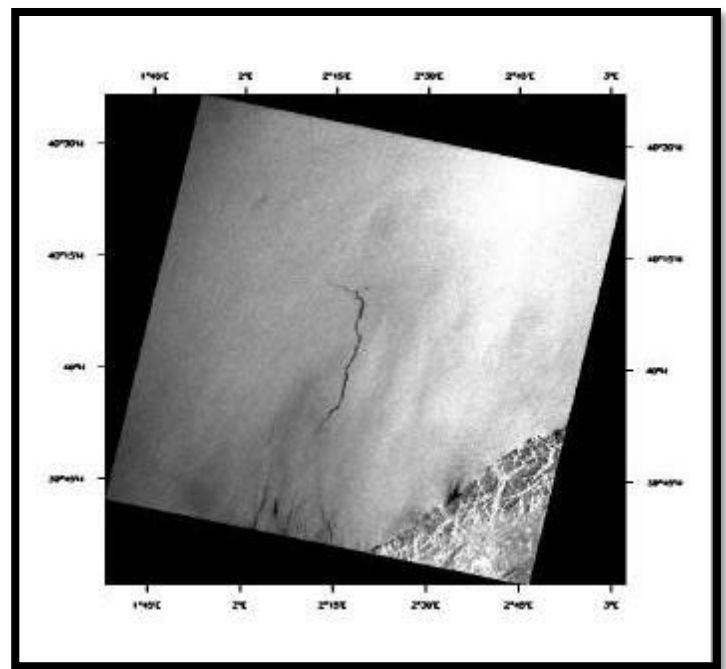
En el caso de restos de materia orgánica que flote en el mar como puede ser petróleo, aceites, basura, algas, etc.

Que son materias con propiedades tensioactivas; es decir provocan una disminución de la rugosidad de la superficie de la mar provocada también por el viento y las olas capilares que producen un reflejo menor que la señal emitida y detectada por el SAR.

Las condiciones de iluminación o la presencia de nubes no afectan a la detección de materia orgánica en la superficie marina, lo que si tiene un efecto notablemente en la detección es la presencia de viento y su velocidad (si la velocidad del viento es superior de 2-3 m/s e inferior de 10-12 m/s las condiciones son las idóneas para la detección de manchas en la superficie marina mediante el dispositivo SAR).

10.7. Aplicaciones del sistema SAR

Una de las funciones principales de la tecnología SAR es la detección y localización de los derrames de crudo y otros derivados, que han sido evocados al mar por buques u otras fuentes de contaminación. En las imágenes siguientes se observa un derrame mediante imagen aérea en la primera y por medio de SAR en la segunda.



No podemos olvidar también la aplicación objeto de este trabajo que es la monitorización del hielo marino, pero esto será explicado detalladamente más adelante.

10.8. Propiedades que afectan a la obtención de imágenes mediante SAR

A continuación, se enumerarán las propiedades de la superficie que tienen un efecto directo sobre la dispersión de las ondas emitidas por el radar:

- Propiedades eléctricas
- La rugosidad
- La forma geométrica
- El ángulo de incidencia

Las propiedades eléctricas, físico-químicas, y la concentración de sustancias orgánicas son algunas de las que afectan a la masa marina y que, por lo tanto, afectan a la dispersión de las ondas y a la reflexión de la superficie marina.

En la superficie del mar también actúan fenómenos como vientos, lluvias, ciclones, frentes sinópticos ondas atmosféricas y que por lo tanto pueden ser detectados por imágenes SAR. Un estudio mucho más avanzado que también nos facilita el SAR es la circulación de la vertical de Langmuir que trata la concentración en la superficie de partículas en la zona de convergencia dentro de 2 células que se encuentran en el mar.

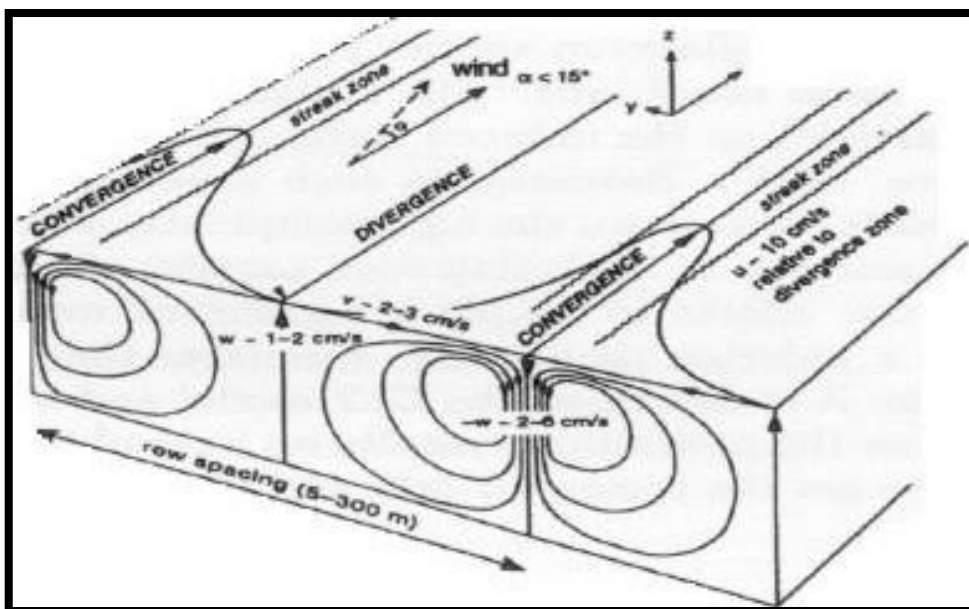


Ilustración 55: Esquema de la circulación de Langumir.

Las partículas pueden ser artificiales, por ejemplo, derrames de crudo, agua contaminada en general, sedimentos, desechos de la industria. etc.

también pueden ser naturales como algas, restos de animales marinos. etc.

estas partículas se acumulan en la superficie donde convergen entre dos células y forman franjas o estelas que son observadas de manera nítida con el SAR.

Estas estelas se desplazan por medio del oleaje, los frentes marinos, corrientes. etc.

Por lo tanto, el estudio de las partículas de Langmuir y su movimiento es muy importante para la previsión de la transformación y la dinámica en derrames de crudo, los movimientos del hielo marino. etc.

En definitiva, es importante para el estudio de todos los fenómenos marinos que se podrían asociar a la dinámica de los trazos observados en el mar mediante el sistema SAR y las imágenes que este nos ofrece.

Enumeración de los fenómenos detectados por los diferentes radares equipados con SAR

	ALMAZ-1	ERS-1/2	JERS-1	RADARSAT
Clorofila	-	-	+ radiómetro	-
Línea de costa	+	+	+	+
Corrientes, nivel del mar	-	+ altímetro	-	-
Vórtices	-	+	-	+
Frentes oceánicos	+	+	+	+
Afloramiento	+	+	+	+
Oleaje	+	+	+	+
Ondas internas	+	+	+	+
Viento superficial	-	+ <i>scatterometer</i>	-	-
Derrames de crudo	+	+	+	+
Topografía submarina de litoral	+	+	-	+
Hielo marino	+	+	+	+
Estelas de los barcos	+	+	+	+

Tabla 5: Esta tabla muestra las capacidades de detección de fenómenos marinos de los distintos Satélites en órbita actualmente

10.9. Estudio de algunas imágenes obtenidas con SAR

En las siguientes imágenes se muestran fenómenos meteorológicos y oceanográficos que pueden ser detectados con el sistema SAR. Las imágenes SAR son de blanco a negro, entonces las escalas de colores más habituales son los grises. Cada píxel se representa con un tono gris diferente en una escala que va del blanco al negro y que cuenta con 256 tonos, el 0 es el negro y el 255 completamente blanco. Una vez obtenida la imagen se le puede añadir un color para facilitar su estudio.



Ilustración 56: En la imagen se puede ver el estrecho de Gibraltar modificado su color.



Ilustración 57: captura del RADARSAT

En la imagen de arriba se puede ver el estrecho de Gibraltar modificado su color. En la siguiente imagen observamos una captura del RADARSAT del 21-01-1998 a las 1819UTC, donde se ve un vertido provocado por un petrolero también en el estrecho.

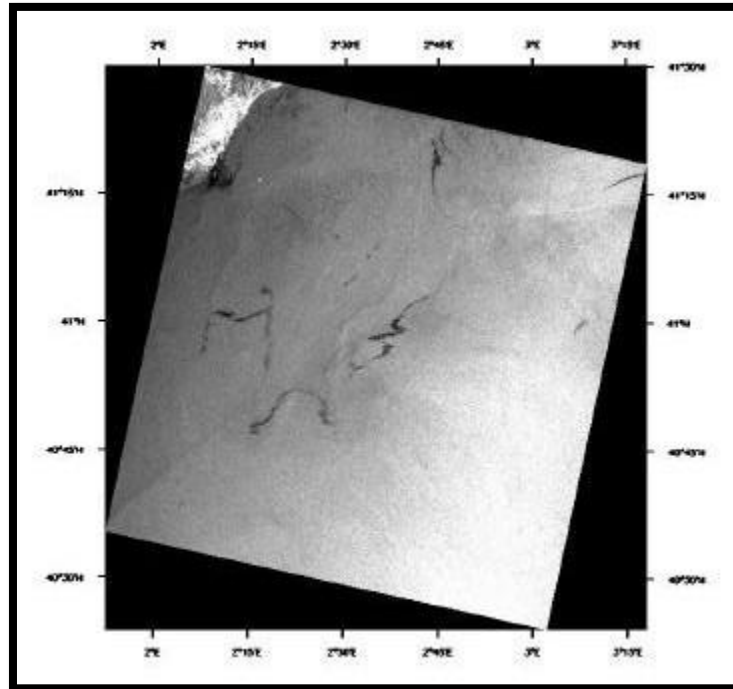


Ilustración 59: Derrame de crudo.

La imagen superior esta captada por el ERS-2 y muestra un derrame de crudo.

En la siguiente imagen del 30-10-1994 a las 1102 UTC vemos el derrame de crudo causado por distintas plataformas en el mar del Norte.

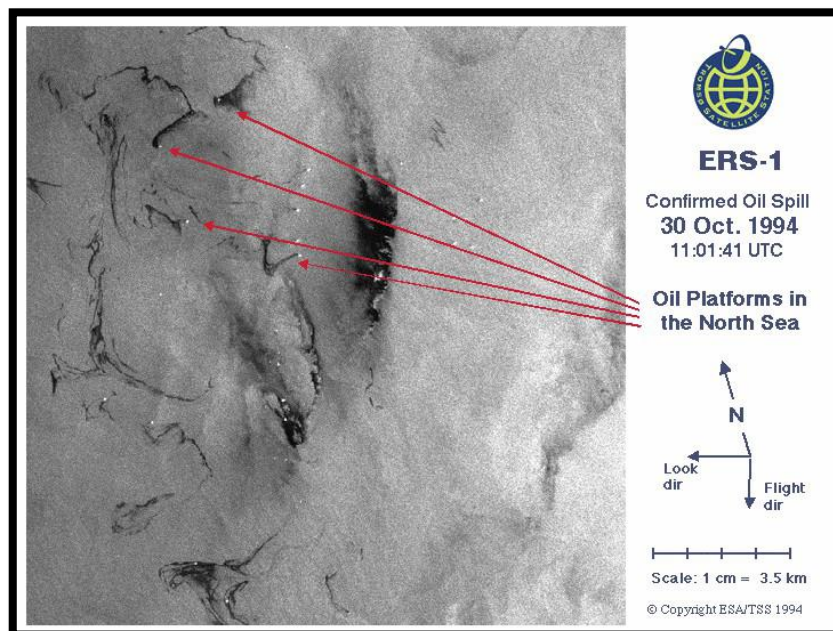


Ilustración 61: derrame de crudo captado por el ERS-1

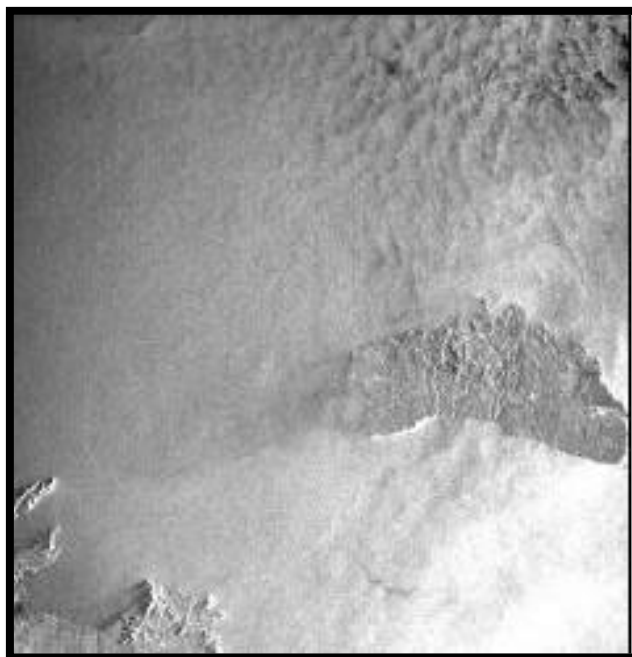


Ilustración 62: células de lluvia cerca de la costa de Menorca



Ilustración 63: Frente atmosférico captado mediante tecnología SAR

El sistema SAR es utilizado para descubrir buques que realizan vertidos ilegales en alta mar, como se observa 2 páginas atrás.

En la imagen se ve un punto brillante que es el buque mientras que los vertidos por ejemplo se ven como estelas oscuras, esto se debe a que el sistema SAR fue diseñado con el fin de detectar fenómenos medioambientales que suelen estar quietos o tener una velocidad de desplazamiento moderada, es por eso que los objetos que se encuentran en movimiento se reflejan en la imagen como destellos brillantes al lado de su trayectoria. En el caso de los buques esto es debido a que existe un punto de rugosidad en la superficie marina en comparación a el resto de la captura. La hélice provoca espuma, pequeñas olas y burbujas de aire que forman una superficie rugosa y este hecho genera una mayor retroreflectancia de la estela, y esto provoca los destellos brillantes.

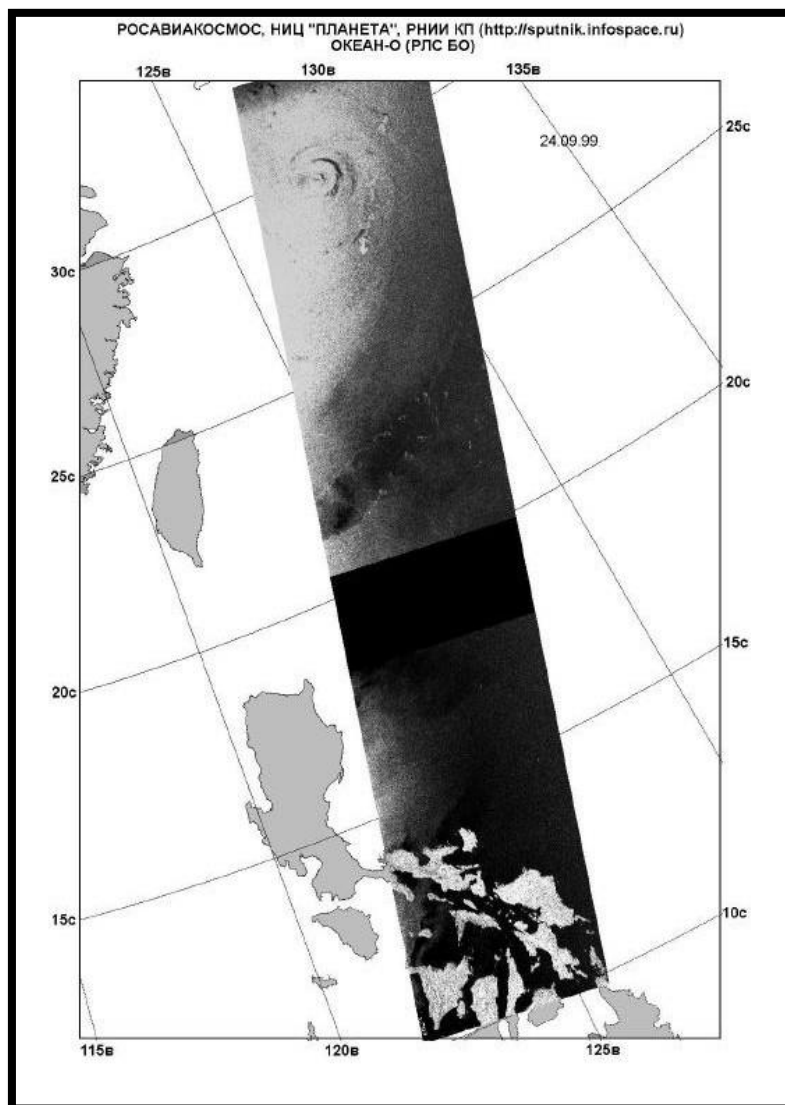


Ilustración 65: Tifón tropical captado con SAR

Otro de los fenómenos que se capta con el sistema SAR es el de la imagen superior donde vemos el efecto de un tifón tropical captado por el satélite OKEAN-O en el mar de la China Oriental.

Por último, en la siguiente imagen del nuevo satélite ENVISAT que lanzo la ESA se puede ver claramente los témpanos de hielo que se desplazan por la zona del Mar del Norte.

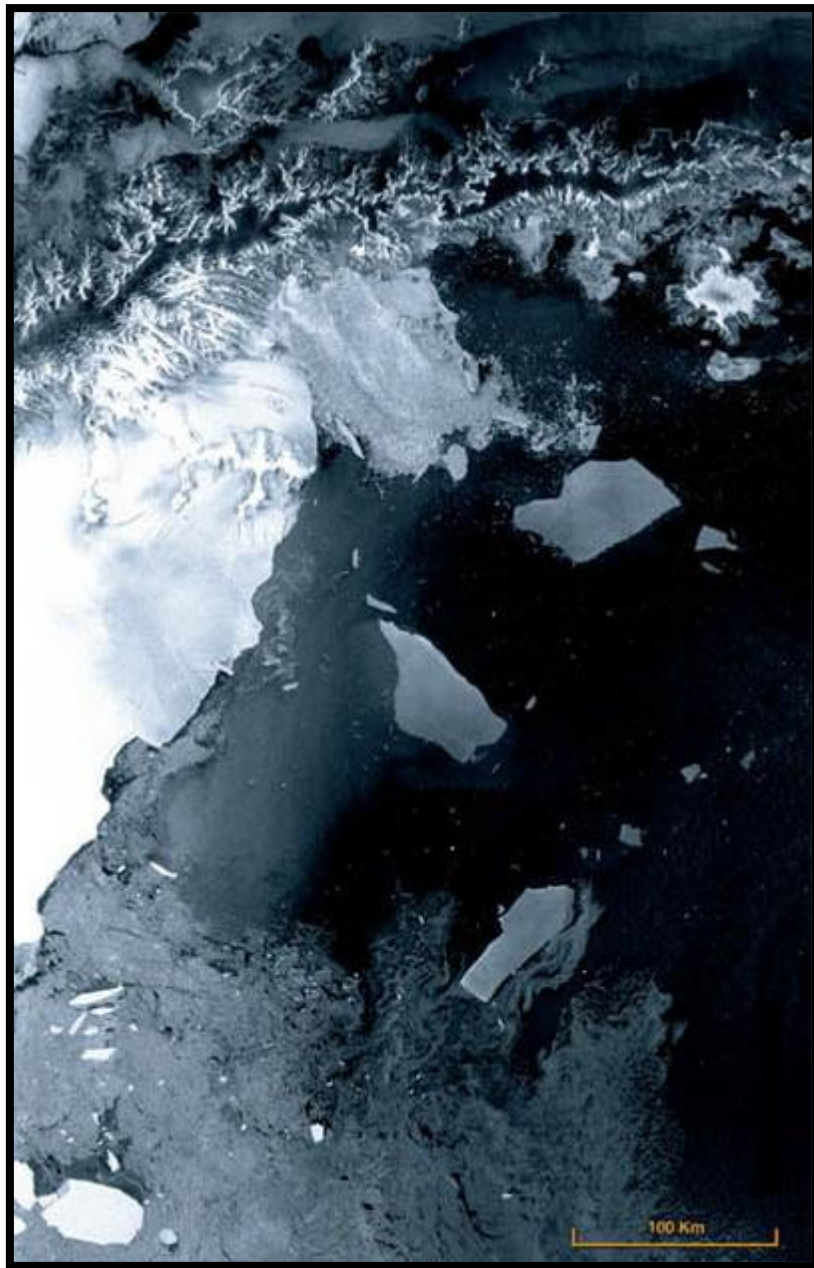


Ilustración 67: Témpanos de hielo captados por medio del sistema SAR.

10.10. Estimación de la deriva del hielo

La velocidad del hielo marino puede determinarse del desplazamiento del hielo en dos instantes diferentes del tiempo. Si un témpano de hielo tiene un tamaño muy reducido no podrá ser identificado y seguido fácilmente y con precisión en las imágenes SAR, en este caso se aplicará una sub-área.

El movimiento del hielo marino puede ser determinado por este método de correlación cruzada, que ha sido usado para determinar la velocidad de líquidos y se ha aplicado para una amplia gama de mediciones de fluido. La correlación cruzada parece un método que lleve mucho tiempo, pero por el contrario se puede calcular rápidamente mediante la rápida **transformada de Hartley (Hartley transform)**, que es más eficiente y rápida que la Transformada de Fourier. En la práctica, cada imagen SAR puede ser separada en una rejilla de las distintas áreas.

Las correspondientes áreas dentro de cada imagen SAR se correlacionan determinando el desplazamiento. Este proceso se repite para cada rejilla para obtener el mapa de velocidades del hielo marino.

A continuación, se describen los pasos del método de correlación cruzada:

- Paso 1: dos subimágenes con un tamaño de 128-por- 128 o 256 por 256 píxeles se extraen de la primera y segunda imágenes SAR en la misma posición, aquí es donde la velocidad es calcula.
- Paso 2: se aplica una doble-dimensional transformada de Harley basada en núcleos, a las subimágenes.
- Paso 3: La transformada de Harley de la función de la correlación cruzada de dos subimágenes puede calcularse por simple aritmética según la propiedad de correlación cruzada de la transformada de Harley en 2D.
- Paso 4: la correlación cruzada de dos subimágenes se puede obtener mediante la inversa de la transformada de Harley en 2D con núcleos separados.
- Paso 5: El desplazamiento del hielo de mar entre dos subimágenes puede estimarse mediante la búsqueda de la posición máxima de la función de correlación cruzada.
- Paso 6: Escalando este valor de desplazamiento a la escala geográfica de las imágenes y dividiéndola por la tomada en las muestras de las dos imágenes SAR, se puede calcular el movimiento del hielo marino.
- Paso 7: Los vectores de velocidad no válidos o falsos causados por el ruido de la imagen o por choques de hielo pueden ser alisados en la continuidad del campo de movimiento del hielo marino. Utilizando el software SAR-ice y aplicando el método del movimiento estimado a las imágenes SAR, se puede obtener la velocidad del vector en el mapa. La

meseoescala dinámica de Foucault (dynamic eddy) de hielo marino puede ser determinada con información detallada.

En la siguiente imagen podemos observar un esquema del proceso que se sigue para la obtención de la deriva del hielo marino.

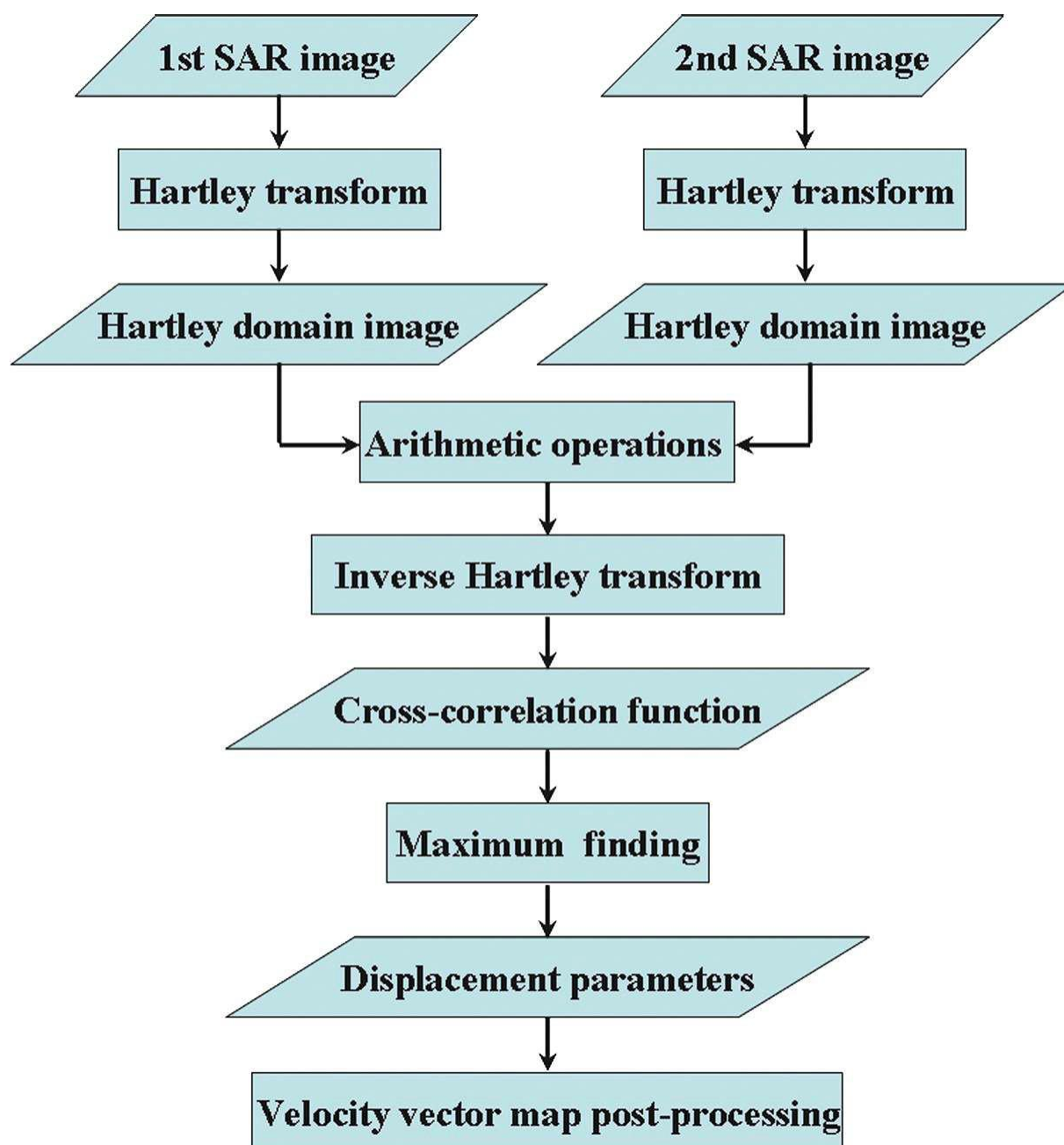


Ilustración 70: proceso de la estima de la deriva del hielo.

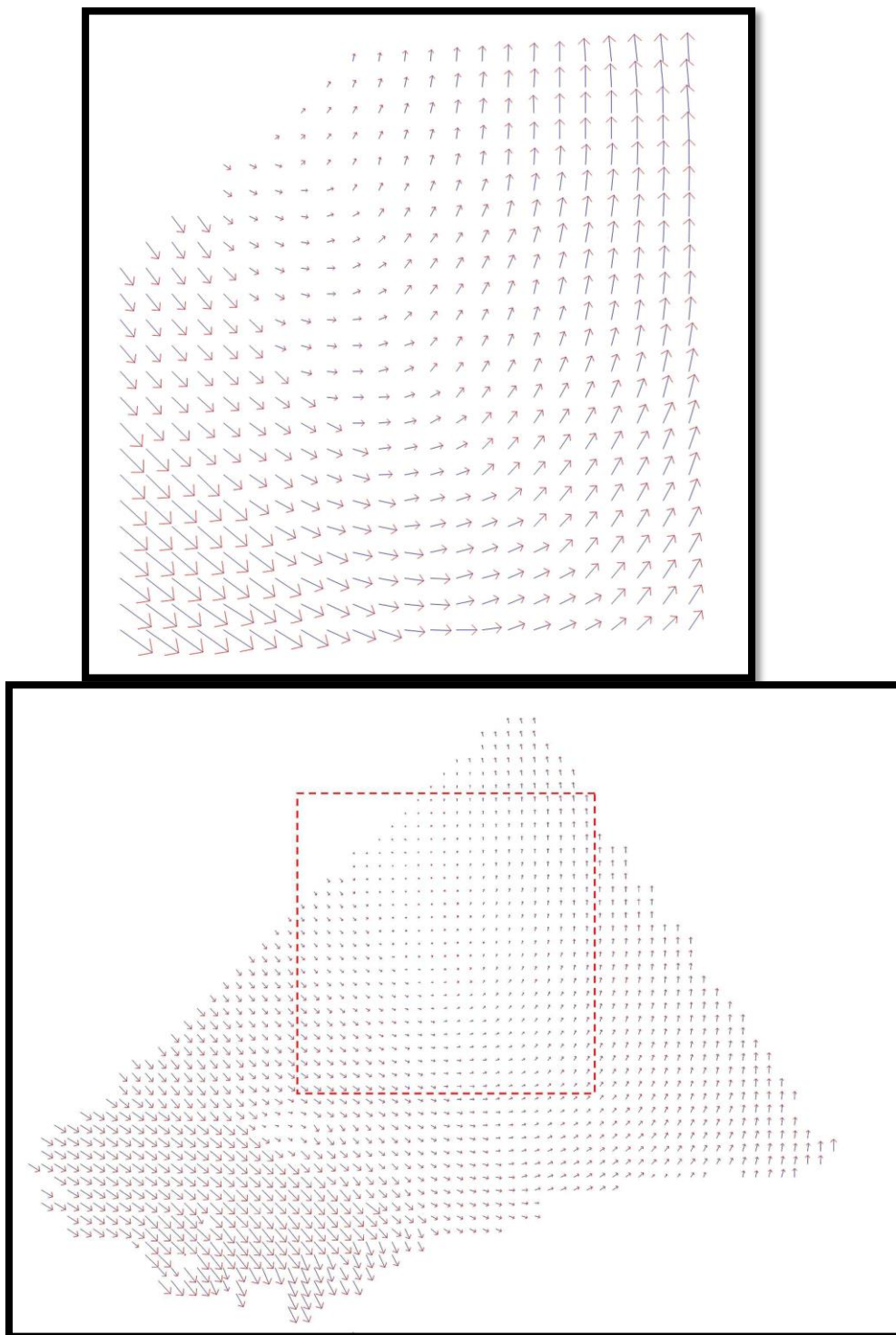


Ilustración 71: mapas de velocidades de deriva del hielo marino

En esta imagen se ve un mapa de velocidades de la deriva de hielo marino en la Antártida generado por imágenes SAR mediante el RADARSAT-2. Debajo otro ejemplo de mapa de velocidades generado con imágenes SAR.

10.11. Conclusiones y perspectivas respecto al sistema SAR

La deriva de hielo del mar puede estimarse mediante el cálculo de la función de correlación cruzada de las imágenes SAR de alta resolución, y la mesoescala provocada por la corriente dinámica de eddy. Estos dos datos nos permiten extraer el mapa de velocidades del hielo marino que nos ayuda a estudiar la dinámica del hielo polar.

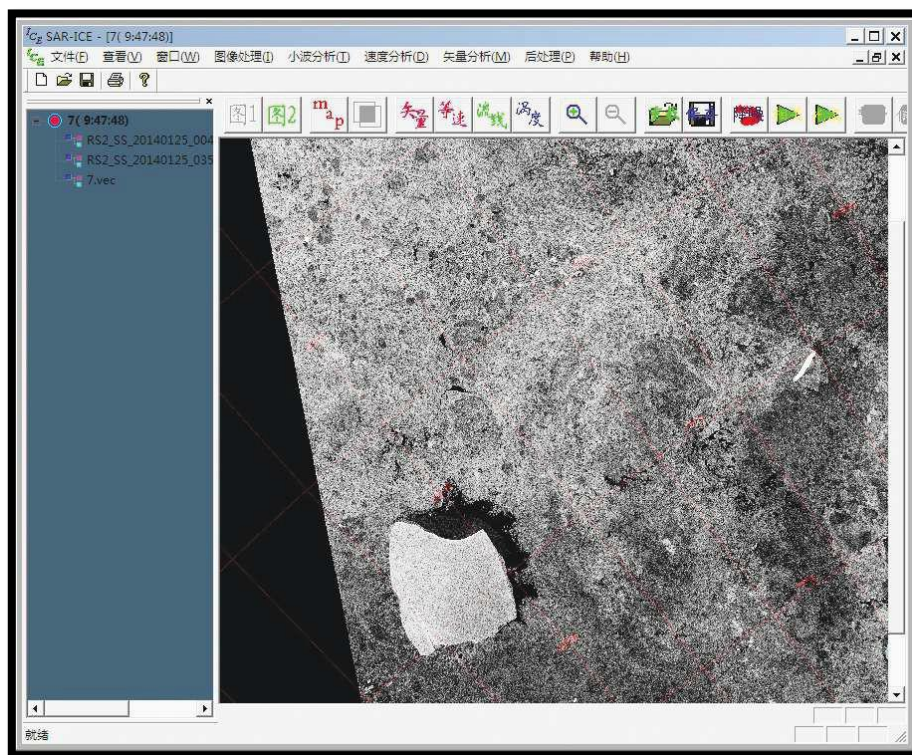


Ilustración 73: imagen del software SAR-ice.

En los últimos años, se ha incrementado la investigación polar. Mediante el uso del software de SAR-ice y aplicando el método anteriormente explicado para imágenes SAR, la investigación de la deriva de hielo marino ha avanzado con creces llegando incluso a plantear su utilización en las navegaciones polares.

Puesto que el movimiento del hielo del mar es influenciado por fuerzas topográficas, atmosféricas y oceánicas, la predicción de la deriva debe ser llevada a cabo mediante la examinación del movimiento del hielo y las fuerzas naturales que actúan como parámetros.

Utilizando la deriva del hielo marino determinada por el método de la correlación cruzada de las presentes condiciones y teniendo en cuenta las predicciones meteorológicas y oceánicas se intentará predecir el comportamiento del hielo marino.

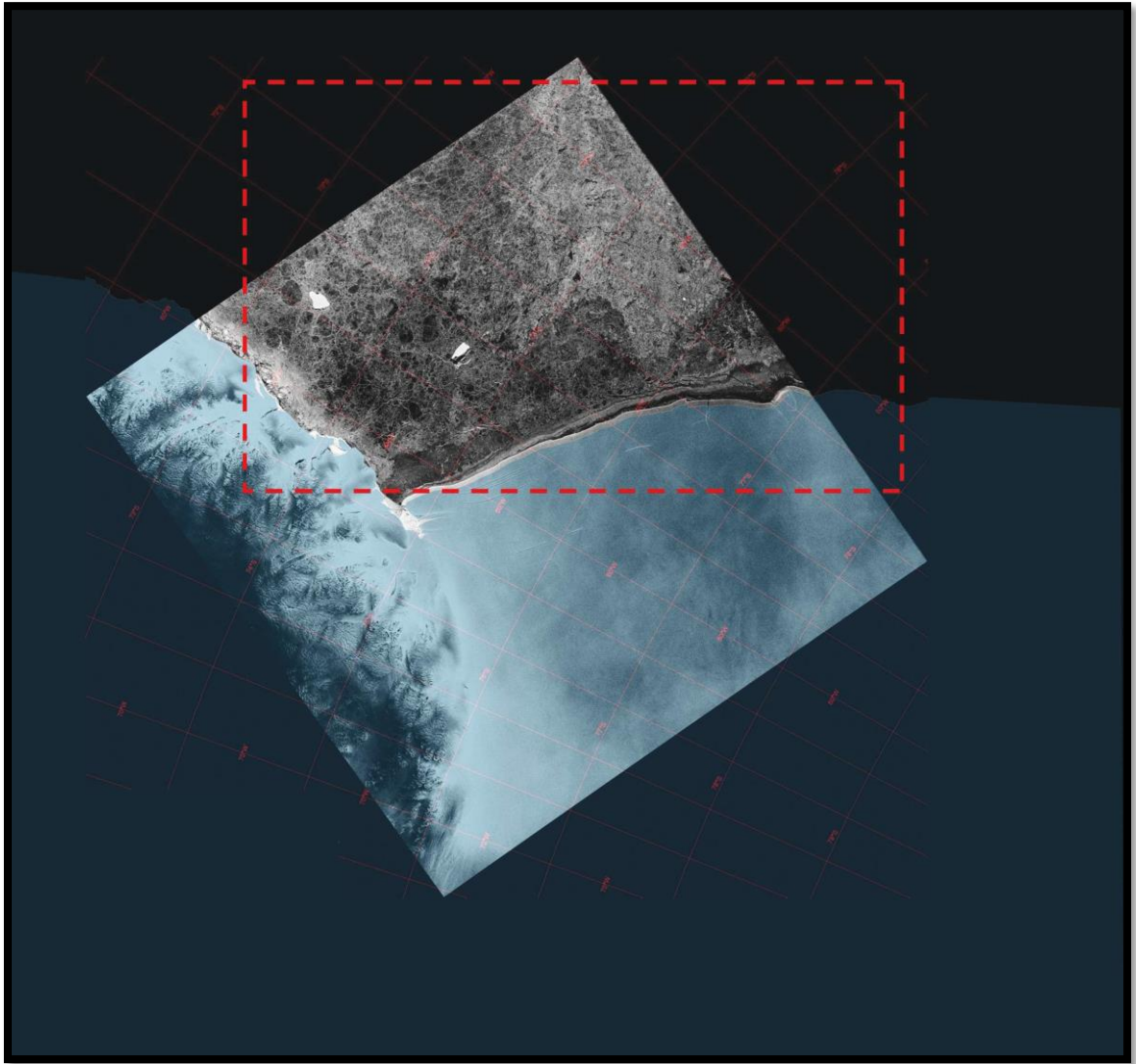


Ilustración 74: Imagen del software SAR-ice.

11.Consultas a expertos y compañías navieras

Para completar este trabajo, después de las explicaciones técnicas ofrecidas anteriormente se va a proceder a exponer las opiniones de dos expertos en la materia de la monitorización del hielo y a dos grandes navieras acerca de la viabilidad en un futuro de la navegación regular y segura por las rutas del norte.

11.1.Expertos consultados

Dr.Robert Shuchman

El Dr. Robert Shuchman es el codirector del MTRI (Michigan Tech Research Institute). Investigador y director técnico senior del estudio de Transporte de Aplicaciones de Tecnologías de Usos Restringidos (Transportation Applications of Restricted Use Technology (TARUT)). Tiene más de 35 años de experiencia aplicando la teledetección para solucionar problemas y ha colaborado en más de 70 artículos y presentado más de 80 documentos técnicos. Ha trabajado como investigador principal en más de 50 programas con proyección de imágenes de SAR tanto terrestres como oceánicas con el SIR-B, el ERS-1 y el JERS-1.

Ola Johannessen

El Dr. Ola Johannessen es el director del Centro Noruego del Medioambiente y la Teledetección Remota (Norwegian Environmental and Remote Sensing Center). Tiene numerosos artículos y publicaciones a sus espaldas y más de 20 años de experiencia en el sector de la teledetección.

Dr. Anna Maria Trofaier

Se trata de una investigadora Doctorada en estudios polares (PhD) por la universidad de Cambridge. Actualmente trabajando en la Agencia Espacial Europea como científica.

Anteriormente trabajó en la UNIS (Univesity Centre in Svalbard) en la oficina de "Remote Sensing"

Sr. Constanza Salvó

Analista de hielo del Servicio de Hidrografía Naval. Cuenta con un gran número de publicaciones científicas a cerca de la teledetección automática del hielo marino y témpanos en la Antártida a partir de empleo de imágenes satelitales de radar de apertura sintética.

Dr. Wolfgang Dierking

Jefe del grupo de recerca del EOS (Earth Observatiom Systems). Miembro de ESA Copernicus L-Band SAR Mission Advisory Group.

Cuenta con un elevado número de estudios científicos acerca del sistema SAR.

11.2.Navieras consultadas

Sovcomflot

Pertenece al grupo SCF, es la naviera más grande de Rusia, y una de las líderes mundiales en el transporte de hidrocarburos, así como el servicio a las plataformas Offshore de exploración y de producción de gas y petróleo.

La compañía está especializada en el transporte de hidrocarburos por zonas de hielo marino. Cuenta con una flota de 143 buques que entre todos suman 12.411.552 toneladas y tienen una edad media de 7 años. Un tercio de la flota está preparada para navegar aguas con hielo marino.

MSC

Es la naviera más grande del mundo si hablamos de contenedores. Cuenta con una flota de 480 buques, que tienen una capacidad de 3,6 millones de TEU. Opera en 200 rutas diferentes, teniendo escala en 315 puertos.

Maersk

Se trata de la compañía más grande del mundo actualmente. Tiene sede en Copenhague, Dinamarca. Realiza operaciones en 325 puertos de todo el mundo y tiene más de 200 rutas activas. Cuenta con 30.000 empleados.

A finales del 2018 realizó una primera navegación con un portacontenedores por la Ruta del mar del Norte o ruta Marítima del Norte.

11.3.Preguntas y respuestas

EXPERTOS

Dear,

I am a Nautical and Maritime Transport student at the UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) in Barcelona. I am working on a project related on the monitoring of icebergs to analyze the viability of polar navigation.

As you are considered as an expert on this topic, I would like to know what your opinion is about whether these systems can make the North Sea maritime routes a valid alternative to the Suez Canal route in the future; which factors would need to be improved or changed for this to be possible and if you think that the inversion that this requires would be adequate to stop using the Suez Canal. Moreover, I would like to know if you think that SAR system is well-developed enough or if it would still need to be improved to guarantee safe and efficient navigation and make the North Sea routes a real alternative that would make the big naviers invest on it?

I look forward to hearing from you soon.

Your sincerely,

NAVIERAS

Dear Sir or Madame,

I am a Nautical and Maritime Transport student at the UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) in Barcelona. I am working on a project related on the monitoring of icebergs to analyze the viability of polar navigation.

As a shipping company I would like to know if you believe that the polar navigation is a real option. Also I would like to ask you about the SAR system (Synthetic Aperture Radar). Is it a tool that can make a viable option to start in a close future a regular commercial routes by the North Sea. If the savings that this would suppose is enough to remedy the investment that would have to carry out and finally know if your company already is conducting a study on the subject or is an option that has not taken into account.

I look forward to hearing from you soon.

Your sincerely,

11.4.Conclusiones

Lamentablemente ninguna de las partes consultadas me respondió antes de la finalización de este trabajo. En el anexo 3 se recoge la relación de emails enviados.

12.Sugerencias y recomendaciones

Una vez llegados a este punto, tras haber recopilado numerosa información acerca de las regiones polares y de las navegaciones que se efectúan en ellas, se va a proceder a concluir este trabajo citando algunas sugerencias y recomendaciones, que en opinión personal podrían armonizar y mejorar las navegaciones tanto a nivel medioambiental como de seguridad, tanto de los buques como de las tripulaciones. Para ello se van a citar primero los problemas y carencias que se ha ido encontrando durante la elaboración del trabajo y se van a proponer sugerencias y recomendaciones para subsanarlos.

- **Disponibilidad de tripulación formada:** si es verdad que actualmente esto no supone un problema real, debido a la escasez de navegaciones polares. Si en un futuro ya sea por el deshielo o por el aumento del turismo, se intensifican las navegaciones en estas áreas puede existir una carencia de tripulación formada correctamente.

Por esto sería adecuada la formación de centros de formación específicos para futuros tripulantes de buques que naveguen en aguas polares.

- **Infraestructura marina sólida:** Actualmente no existe una infraestructura marina (sobre todo en el Ártico, donde se desarrollan las navegaciones comerciales) para mejorar la seguridad de la vida humana en estas áreas, así como una prevención de la contaminación.

Para subsanar esta carencia se deberían estudiar los puntos costeros más cercanos a zonas pobladas y que están más cerca de las grandes rutas polares para crear puertos que albergasen estaciones de recepción de residuos para conseguir un desarrollo sostenible de la navegación polar y donde podrían establecerse medios de rescate y salvamento, como se va a comentar en el siguiente punto.

- **Sistemas de rescate y salvamento (SAR) especiales en las zonas polares:** uno de los grandes problemas que tienen las navegaciones polares es la inseguridad y los peligros que existen en estas áreas (hielo, temperaturas extremas, mal tiempo, etc.).

Si, además, de a estos problemas le añadimos el hecho de que se trata de lugares remotos alejados de las poblaciones humanas y por lo tanto de los medios de rescate y salvamento, vemos la importancia de la creación de un sistema SAR específico, que

además de proporcionar proximidad también este equipado y formado particularmente para el tipo de emergencias que se pueden producir en los polos.

- **Prevención de la contaminación polar:** son muchos los factores que pueden crear contaminación en estas áreas y que con unas medidas específicas se podrían prevenir o mitigar sus efectos. A continuación, se expondrán algunas de estas medidas.

Se podría promover la cooperación en la prevención de derrames de hidrocarburos. Consiguiendo que los países ribereños creasen protocolos conjuntos para mejorar la preparación y respuesta frente a los derrames.

Otra de las medidas sería la designación del Ártico como zona de interés especial o particularmente sensible, más allá del reconocimiento que tiene actualmente, pues dada la importancia de estas regiones debería ser existir una normativa más restrictiva en cuanto a contaminación.

- **Reducción de la contaminación y del impacto de la navegación polar:** aunque a niveles comerciales ya sea por el transporte de mercancías, pesca o turismo el deshielo este beneficiando en la facilitación de las navegaciones en las regiones polares. No hay que olvidar que se trata de áreas muy sensible y que su destrucción puede desequilibrar el planeta tierra. Para mitigar estos efectos que pueden provocar la navegación polar se proponen diversas medidas.

La primera de ellas podría ser el estudio sobre los efectos que tiene el ruido producido por los buques en la fauna marina y el impacto de estos en animales como son los ballenas, delfines, orcas y demás seres vivos que habitan estas zonas.

Siguiendo en esta línea también se podrían mejorar las prácticas a bordo y las tecnologías para reducir las emisiones a la atmósfera creando un apartado especial en el Código polar que se encargase de regularlo.

Otra propuesta de normativa más restrictiva podría pasar por limitar el número de buques que entren en aguas polares a fin de reducir el impacto que estos generan.

Finalmente se propone como media a adoptar en un futuro la obligación de que los buques que naveguen en las zonas polares se propulsen mediante energías más limpias que los actuales derivados del petróleo.

Como ejemplos se podrían mencionar la energía eléctrica, el gas, etc.

-
- **Crear un sistema de control de tráfico:** al ser zonas inhóspitas y con multitud de peligros se plantea que, de la misma manera que se controla el tráfico marítimo en entradas de puerto, ríos, y otras áreas peligrosas o con un tráfico elevado.

Se propone implementar un sistema de control de tráfico en las zonas polares para aumentar la seguridad en las navegaciones polares. De esta manera se tendrían los buques controlados en todo momento en un área geográfica delimitada que podría basarse en las principales vías navegables, como podrían ser la ruta Marítima del norte o ruta del Mar del Norte, la ruta Transpolar, etc.

- **Reducir costes buques polares:** como ya se ha plasmado en el trabajo, son muchos los requisitos que deben cumplir los buques certificados para navegar en las aguas polares. Esto supone una barrera para los armadores que pretenden hacerse con buques que cumplan tales directrices.

Para remediar este hecho y reducir costes de producción de estos buques tan específicos se propone unificar y estandarizar la producción de los mismos.

De esta manera se conseguirá reducir los costes de materiales y de personal dado que al pedir siempre los mismos materiales específicos se rebajará el precio en los pedidos y la especialización del personal permitirá invertir menos tiempo en la construcción de estos buques que por sus características necesitan de técnicas muy modernas para su manufactura.

- **Mejorar la seguridad de la vida humana en la mar y el medio ambiente:** para prevenir la pérdida de vidas humanas en la mar y la contaminación, además de ofrecer una buena formación a las tripulaciones también se debe conseguir navegar de forma segura. Esto se consigue contando con aparatos que nos ayuden en la navegación y mediante los cuales podamos evitar accidentes y con buena información de las aguas en las que navegamos

Por lo tanto, la primera recomendación dentro de este apartado sería la mejora de la cartografía existente. Pues esta o está obsoleta, poco actualizada o directamente es inexistente en ciertas zonas de las áreas polares. Y dada la facilidad de que los equipos de sondas sufran desperfectos debido al hielo es de vital importancia contar con una cartografía actualizada, extensa y fiable.

Otra recomendación es enfocar lo antes posible la siguiente fase de aplicación del Código Polar que se centra en los buques no-SOLAS, dado que la actividad pesquera en estas áreas es muy extensa y representa un elevado riesgo para la seguridad de la vida humana.

Y, por último, siendo además uno de los principales temas tratados en este trabajo, se propone y recomienda mejorar el sistema de recepción de información e hielos y esto pasa por implementar el sistema SAR (Synthetic Aperture Radar) en todos los buques que naveguen en áreas polares a modo de prevención y seguridad.

Pues este sistema proporciona una monitorización fiable del hielo marino, es decir nos indica el movimiento que sigue la velocidad e incluso una predicción de su posición futura.

13. Conclusiones

Después de realizar este trabajo he podido formarme una mejor idea de las regiones polares de nuestro planeta. Por un lado, tenemos el Antártico que más allá de fines turísticos o de exploración no tiene más navegaciones significantes. Pero en el norte y totalmente al revés que, en el sur, el Ártico despierta intereses comerciales en muchas grandes compañías y estados ribereños y no ribereños, dado sus recursos naturales y por el ahorro que suponen en el transporte de mercancías entre continentes. Las rutas marítimas por el Mar Ártico, como alternativa al Canal de Suez son entre 6.000 y 12.000 kilómetros más cortas. Esto supone un ahorro en tiempo considerable y un notable ahorro en combustible y costes con la utilización de estas nuevas rutas.

La dinámica de los últimos años señala que el deshielo de los polos es una realidad y que además va a un ritmo muy rápido. Este hecho sumado a los intereses comerciales anteriormente citados están incrementando el número de buques que navegan en aguas del Ártico. Por lo tanto, no se puede negar que el Ártico está cambiando, hay que tomarlo o perderlo.

Todo y así este crecimiento de afluencia de buques es muy pequeño y todavía no es relevante, pues no hay que olvidar que son solo cuatro meses en los que existe la posibilidad de navegar sin buques rompehielos de apoyo. Además, los costes de navegar en estas aguas son elevados dados los requisitos que exige la OMI y que deben cumplir los buques que navegan en ellas, así como la peligrosidad que representa navegar en un escenario llenos de hielo marino e icebergs.

Por estos motivos mi opinión es que la navegación en el Ártico, es una más que realista opción futura, una vez el deshielo provoque que este esté libre de hielo la mayoría del año. Todo y así no se si esto supone una buena noticia o no, pues las consecuencias negativas son casi tantas como las positivas.

Pero de momento y en vistas de que existen buques que navegan por estas zonas y que hay más que prevén hacerlo se requieren nuevos sistemas de ayuda a la navegación para preservar la seguridad de la vida humana y del medio ambiente en los polos y como ha quedado plasmado en el trabajo, el SAR es uno de los. Se trata de una tecnología fiable la cual opera desde hace más de dos décadas y no ha parado de tener mejoras en este tiempo.

Por lo tanto, el deshielo que se está produciendo en el Ártico sumado a las tecnologías van a facilitar el tránsito en las zonas con hielo marino y por lo que parece podría ser una opción más que rentable para las grandes navieras una vez se establezcan líneas regulares y se normalice la construcción del tipo de buques necesarios para estas navegaciones.

Todo y así no hay que olvidar que las rutas que se seguirían no tienen escalas de importancia, entonces serían unas rutas únicamente para ir del Atlántico al Pacífico y viceversa, por ese motivo no creo que llegue a ser nunca una ruta tan transitada como es ahora el Canal de Suez, pues en las rutas que atraviesan este canal hay muchas escalas con una gran importancia comercial. Por ese motivo creo que la Ruta del Norte podría no llegar a establecerse como una ruta regular, pues el dinero que se debería invertir para crear una infraestructura para hacer

segura esta ruta es muy elevado y en mi opinión solo se podría asumir si una parte muy importante del tonelaje se transitara por el Ártico.

Además de esto, los conflictos políticos existentes entre los gobiernos de los estados ribereños Árticos deberían solucionarse para poder llegar a acuerdos sobre los derechos de las aguas árticas que no generaran problemas logísticos y legales a los buques que las transitaran. Y por el momento parece que estos entendimientos no están cerca de suceder.

En definitiva, potencialmente las rutas por el polo norte, no cabe duda que por tecnología y factores climáticos serán transitables, lo que falta por saber es si se realizará la inversión que esto conllevaría, quien lo haría y si esta opción sería rentable y realista a nivel comercial.

14.Glosario

Sea ice arises as seawater freezes. Because ice is less dense than water, it floats on the ocean's surface (as does fresh water ice, which has an even lower density). Sea ice covers about 7% of the Earth's surface and about 12% of the world's oceans.

Iceberg is a large piece of freshwater ice that has broken off a glacier or an ice shelf and is floating freely in open water. It may subsequently become frozen into pack ice (one form of sea ice). As it drifts into shallower waters, it may come into contact with the seabed, a process referred to as sea gouging by ice.

Grease ice is a very thin, soupy layer of frazil crystals clumped together, which makes the ocean surface resemble an oil slick. Grease ice is the second stage in the formation of solid sea ice after ice floes and then frazil ice.

Frazil ice is a collection of loose, randomly oriented needle-shaped ice crystals in water. It resembles slush and has the appearance of being slightly oily when seen on the surface of water. It sporadically forms in open, turbulent, supercooled water, which means that it usually forms in rivers, lakes and oceans, on clear nights when the weather is colder, and air temperature reaches 6 °C (21°F) or – lower. Frazil ice is the first stage in the formation of sea ice.

Polynya is an area of open water surrounded by sea ice. It is now used as geographical term for an area of unfrozen sea within the ice pack. It is a loanword from Russian, which refers to a natural ice hole, and was adopted in the 19th century by polar explorers to describe navigable portions of the sea. In past decades, for example, some polynyas, such as the Weddell polyny, have lasted over multiple winters (1974–1976).

Albedo, or reflection coefficient, derived from Latin albedo "whiteness" (or reflected sunlight) in turn from albus "white", is the diffuse reflectivity or reflecting power of a surface. It is the ratio of reflected radiation from the surface to incident radiation upon it. Its dimensionless nature lets it be expressed as a percentage and is measured on a scale from zero for no reflection of a perfectly black surface to 1 for perfect reflection of a white surface.

Frost flowers are ice crystals commonly found growing on young sea ice and thin lake ice cold, calm conditions. The ice crystals are similar to hoar frost, and are commonly seen to grow in patches around 3–4 cm in diameter. Frost flowers growing on sea ice have extremely high salinities and concentrations of other sea water chemicals and, because of their high surface area, are efficient releasers of these chemicals into the atmosphere.

Backscatter is the reflection of waves, particles, or signals back to the direction from which they came. It is a diffuse reflection due to scattering, as opposed to specular reflection like a mirror.

Emissivity of the surface of a material is its effectiveness in emitting energy as thermal radiation. Thermal radiation is light, but for objects near room temperature this light is infrared and is not visible to human eyes.

The **relative permittivity** of a material is its dielectric permittivity expressed as a ratio relative to the permittivity of vacuum.

Permittivity is a material property that affects the Coloumb force between two point charges in the material. Relative permittivity is the factor by which the electric field between the charges is decreased relative to vacuum.

A **Sun-synchronous orbit (SSO)**, sometimes called a **heliosynchronous orbit** is a geocentric orbit that combines altitude and inclination in such a way that an object on that orbit will appear to orbit in the same position, from the perspective of the Sun, during its orbit around the Earth.

In mathematics, the **Hartley transform** is an integral transform closely related to the Fourier transform, but which transforms real-valued functions to real-valued functions. It was proposed as an alternative to the Fourier transform by R.L.V Hartley in 1942, and is one of many known Fourier-related transforms. Compared to the Fourier transform, the Hartley transform has the advantages of transforming real functions to real functions and of being its own inverse.

Dinamic eddy is the swirling of a fluid and the reverse current created when the fluid flows past an obstacle. The moving fluid creates a space devoid of downstream-flowing fluid on the downstream side of the object. Fluid behind the obstacle flows into the void creating a swirl of fluid on each edge of the obstacle, followed by a short reverse flow of fluid behind the obstacle flowing upstream, toward the back of the obstacle. This phenomenon is most visible behind large emergent rocks in swift-flowing rivers .

Bibliografía

- [1] Bellaubí Pallarés, I. (2017). Nuevas rutas árticas de navegación polar.
- [2] Salvó, C. Salgado, H. Lorenzo, B. Scardilli, A. (2018). Concentración de hielo flotante en el mar de Weddell por medio de imágenes SAR.
- [3] Weeks W.F., Ackley S.F. (1986) The Growth, Structure, and Properties of Sea Ice. In: Untersteiner N. (eds) The Geophysics of Sea Ice. NATO ASI Series (Series B: Physics). Springer, Boston, MA
- [4] Shuchman, Dean G. Flett. SAR Measurement of Sea Ice Parameters: Sea Ice Session Overview Paper Robert A. (1)Altarum Institute (formerly ERIM), P.O. Box 134001, Ann Arbor, Michigan 48113-4001 USA,
- [5] Guerreo. L, de Jong. G, (2015). Buques para navegación polar y en zonas de hielos. Bureau veritas
- [6] Yufang Ye, Mohammed Shokr, Georg Heygster and Gunnar Spreen *Remote Sens.* 2016, 8(5), 397
Received: 25 February 2016 / Revised: 10 April 2016 / Accepted: 28 April 2016 / Published: 10 May 2016
- [7] Alexander Beitsch, Lars Kaleschke and Stefan Kern *Remote Sens.* 2014, 6(5), 3841-3856; Received: 13 December 2013 / Revised: 20 March 2014 / Accepted: 28 March 2014 / Published: 29 April 2014

Web grafía

1. Mediterráneo Señales Marítimas. (2017-2019). MSAESMAR. Valencia, España. Recuperado de <http://mesemar.com/normativa-para-la-navegacion-en-los-polos/>
2. Juan Alberto Tomás. (2016). BOLETIN PATRÓN. Madrid, España. Recuperado de <http://boletinpatron.com/varios/barcos/>
3. Clase Polar. (16/11/2018). WIKIPEDIA. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Clase_Polar
4. Cruise News. (31/01/2017). Cruise News Media Group. Recuperado de <https://www.cruisesnews.es/Portal/?p=7538>
5. Sea ice data for Artic navigation. Sios-svalgfuard. Recuperado de https://sios-svalbard.org/sites/sios.metsis.met.no/files/common/20171024_SealceDataForArcticNavigation.pdf
6. Bridge Procedures: What to avoid during ship navigation in polar waters. (09/05/2018). Safety4sea. Recuperado de <https://safety4sea.com/cm-bridge-procedures-avoid-ship-navigation-polar-waters/>

7. Nansen Environmental and Remote Sensing Center. NERSC. Recuperado de <https://www.nersc.no/project/icemotion>
8. El deshielo del Ártico. (11/05/2017). El País. Recuperado de https://elpais.com/elpais/2017/05/10/media/1494430962_123234.html?rel=mas
9. Maersk probará una ruta por el Ártico para transportar contenedores. (21/08/2018). El País. Recuperado de https://elpais.com/economia/2018/08/21/actualidad/1534837730_791277.html
10. MAERSK ENVÍA EL PRIMER PORTACONTENEDORES POR LA RUTA ÁRTICA. (03/09/2018). SECTOR MARÍTIMO. Recuperado de <https://sectormaritimo.es/maersk-envia-el-primer-portacontenedores-por-la-ruta-artica>
11. Maersk probará una ruta por el Ártico para transportar contenedores. (09/10/2018). DAMX. Recuperado de <https://damex.es/maersk-probara-una-ruta-por-el-artico-para-transportar-contenedores/>
12. Juan A Olivella. (02/10/2018). Va de barcos. Recuperado de <https://vadebarcos.net/2018/10/02/maersk-completa-con-exito-su-viaje-de-prueba-a-traves-de-la-ruta-maritima-del-norte/>

13. Maersk concludes trial passage of Northern Sea Route. (28/08/2018). MAERSK. Recuperado de <https://www.maersk.com/en/news/2018/09/28/maersk-concludes-trial-passage-of-northern-sea-route>
14. Antonio Cerrillo (18/03/2018). La Vanguardia. Barcelona, España. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/natural/cambio-climatico/20180318/441615512008/oceano-artico-superficie-hielo.html>
15. Damen vessels via NSR from China to Rotterdam. (29/10/2018). CHFL. Recuperado de <http://arctic-lia.com/?p=1257>
16. Belén Domínguez Cerbrían. (10/05/2017). El País. Madrid, España. Recuperado de https://elpais.com/internacional/2016/05/25/actualidad/1464193742_364087.html?rel=mas
17. Artic cooperation and politics. (04/01/2019). WIKIPEDIA. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Arctic_cooperation_and_politics#Territorial_Claims
18. Northern Sea Route Shipping Statistics. (2015-2019). PAME. Akureyri. Iceland. Recuperado de <https://www.pame.is/index.php/projects/arctic-marine-shipping/older-projects/northern-sea-route-shipping-statistics>
19. What is Synthetic Aperture Radar (SAR). Sandia National Laboratories. Recuperado de https://www.sandia.gov/radar/what_is_sar/index.html

20. All about sea ice. (2015-2019). NSIDC. Recuperado de <https://nsidc.org/cryosphere/seaice/index.html>

21. Artic shipping route through Russi planned by Chinese Company. (30/10/2015). CBC News. Recuperado de <https://www.cbc.ca/news/canada/north/arctic-shipping-route-through-russia-planned-by-chinese-company-1.3296334>

Anexo 1. Definiciones Código Polar

G-1 Definiciones

A los efectos de las Directrices, y salvo disposición expresa en otro sentido, los términos y expresiones utilizados tienen el significado que a continuación se indica. Los términos no definidos en las presentes Directrices se interpretarán según la definición del convenio pertinente.

G-3.1 Administración: el Gobierno del Estado cuyo pabellón tenga derecho a enarbolar el buque.

G-3.2 Aguas polares: aguas árticas y aguas antárticas.

G-3.3 Aguas árticas: son las aguas situadas al norte de una línea que va desde los 58°00'0 N de latitud y los 042°00'0 W de longitud hasta los 64°37'0 N de latitud y los 035°27'0 W de longitud, y de ahí, por una loxodrómica, hasta los 67°03'9 N de latitud y los 026°33'4 W de longitud, y a continuación, por una loxodrómica, hasta Sørkapp, Jan Mayen y, por la costa meridional de Jan Mayen, hasta la isla de Bjørnøya, y a continuación, por la línea del círculo polar máximo, desde la isla de Bjørnøya hasta el cabo Kanin Nos, y siguiendo la costa septentrional del continente asiático hacia el este hasta el estrecho de Bering y de ahí, hacia el oeste, por los 60° N de latitud hasta Il'pyrskiy, siguiendo a continuación el paralelo 60° N hacia el este, hasta el estrecho de Etolin inclusive, bordeando después la costa septentrional del continente norteamericano, hasta los 60° N de latitud y hacia el este, siguiendo el paralelo 60° N hasta los 56°37'1 W de longitud, y de ahí, hasta los 58°00'0 N de latitud y los 042°00'0 W de longitud (véase la figura 1).

G-3.4 Aguas antárticas: son las aguas que están situadas al sur de los 60° S

G-3.5 Aguas cubiertas de hielo: son las aguas polares en las que las condiciones locales de hielo constituyen un riesgo para la estructura del buque.

G-3.6 Reglamento de Abordajes: el Reglamento internacional para prevenir los abordajes, 1972, enmendado.

G-3.7 Compañía: el propietario del buque o cualquier otra organización o persona, por ejemplo, el gestor naval o el fletador a casco desnudo, que ha recibido de aquél la responsabilidad de la explotación del buque.

G-3.8 *Puesto de órdenes de maniobra*: puesto en el que se encuentran los mandos de gobierno del buque y los dispositivos para las operaciones de marcha adelante o marcha atrás.

G-3.9 *Escolta*: todo buque con capacidad superior para navegar entre hielos que acompañe a otro.

G-3.10 *Operación escoltada*: toda operación en la que los movimientos de un buque se vean facilitados por la intervención de una escolta.

G-3.11 *IACS*: la Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación.

G-3.12 *Piloto de hielos*: toda persona que, además de tener la competencia exigida en el Convenio de Formación, ha recibido formación especial y tiene la competencia necesaria para dirigir un buque en agua.

G-3.13 *Rompehielos*: todo buque que por sus características operacionales pueda desempeñar funciones de escolta o de control de hielos y cuya potencia y dimensiones le permitan realizar operaciones de penetración en aguas cubiertas de hielo.

G-3.14 *Viajes internacionales*: viajes en aguas internacionales, según se definen en el capítulo I del Convenio SOLAS, 1974, enmendado.

G-3.15 *Código IGS*: el Código internacional de gestión de la seguridad operacional del buque y la prevención de la contaminación, enmendado.

G-3.16 *Convenio de Líneas de Carga*: el Convenio internacional sobre líneas de carga, 1966.

G-3.17 *Convenio MARPOL*: el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (MARPOL 73/78), enmendado.

G-3.18 *Organización*: la Organización Marítima Internacional.

G-3.19 *Clase de navegación polar*: clase asignada a un buque basándose en las Prescripciones unificadas de la IACS.

G-3.20 *Buque clasificado para la navegación polar*: buque al que se ha asignado una clase de navegación polar.

G-3.21 *Contaminante*: cualquier sustancia regida por el Convenio MARPOL cuya introducción en el mar pueda ocasionar riesgos para la salud humana, dañar la flora, la fauna y los recursos vivos del medio marino, menoscabar los alicientes recreativos o entorpecer otros usos legítimos de las aguas del mar.

G-3.22 *Organización reconocida*: una organización reconocida por una Administración de conformidad con lo dispuesto en las resoluciones A.739(18) y A.789(19) de la OMI.

G-3.23 *Buque*: todo buque que deba cumplir lo dispuesto en el Convenio SOLAS 1974.

G-3.24 *Convenio SOLAS*: el Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974, enmendado.

G-3.25 *Convenio de Formación*: el Convenio internacional sobre normas de formación, titulación y guardia para la gente de mar, 1978, enmendado.

G-3.26 *Prescripciones unificadas*: las prescripciones unificadas de la IACS aplicables a los buques clasificados para la navegación polar (UR-I).

G-3.27 *OMM*: la Organización Meteorológica Mundial.

G-3.28 *Líquidos para uso del buque*: sustancias contaminantes utilizadas para el funcionamiento de las máquinas del buque.

G-3.29 *Código IS 2008*: el Código internacional de estabilidad sin avería, 2008, adoptado mediante la resolución MSC.267(85).

Anexo 2: Capítulo 12 Código Polar

CAPÍTULO 12 APARATOS NÁUTICOS

12.1 Aplicación

Cabe señalar que las disposiciones recogidas en el presente capítulo no han de considerarse una adición a las prescripciones del capítulo V del Convenio SOLAS. Todo equipo ya instalado o que se lleve a bordo en cumplimiento de las prescripciones del capítulo antedicho podrá considerarse parte del complemento de equipo recomendado que se especifica en el presente capítulo. A menos que en el presente capítulo se indique lo contrario, las normas de funcionamiento y otras orientaciones relativas a los equipos y sistemas aquí mencionados deberían aplicarse de conformidad con lo dispuesto en el capítulo V del Convenio SOLAS, enmendado.

12.2 Compases

12.2.1 Las variaciones magnéticas en latitudes altas pueden dar lecturas poco fiables de los compases magnéticos.

12.2.2 En latitudes altas, los girocompases pueden resultar inestables, y tal vez sea necesario desconectarlos.

12.2.3 Las compañías deberían asegurarse de que sus sistemas de facilitación de rumbos de referencia son apropiados para las zonas y modalidades de operación previstas y de que se ha prestado la debida consideración a los posibles efectos mencionados en los párrafos 12.2.1 y 12.2.2. Para las operaciones en aguas polares, los buques deberían estar equipados al menos con un girocompás y debería considerarse la necesidad de instalar un compás satelitario o medios alternativos.

12.3 Medición de la velocidad y la distancia

12.3.1 Todos los buques deberían estar equipados con dos dispositivos de medición de la velocidad y la distancia como mínimo. Cada uno de esos dispositivos debería funcionar según un principio diferente, a fin de que puedan indicar tanto la velocidad a través del agua como con respecto al fondo.

12.3.2 Los dispositivos de medición de la velocidad y la distancia deberían dar, en cada puesto de órdenes de maniobra, una lectura de la velocidad al menos una vez por segundo.

12.3.3 Los sensores de los dispositivos de medición de la velocidad y la distancia no deberían sobresalir por debajo del casco y deberían instalarse de modo que estén protegidos de los daños que pueda causar el hielo.

12.4 Dispositivos de ecosonda

Todos los buques deberían estar equipados, como mínimo, con dos dispositivos de ecosonda independientes que faciliten una indicación de la profundidad del agua por debajo de la quilla. Debería tenerse debidamente en cuenta la posibilidad de que el hielo cause interferencias o dañe cualquier dispositivo proyectado para funcionar por debajo de la línea de flotación.

12.5 Instalaciones de radar

12.5.1 Todos los buques deberían estar equipados, como mínimo, con dos sistemas de radar de funcionamiento independiente, uno de los cuales debería funcionar en la gama de frecuencias de 3 GHz (10 cm, banda S).

12.5.2 Los sistemas de punteo radar que se instalen deberían poder funcionar en las modalidades de estabilización con respecto al agua y estabilización con respecto al fondo.

12.6 Sistemas electrónicos de determinación de la situación y cartas náuticas electrónicas

12.6.1 Todos los buques deberían estar equipados con un sistema electrónico de determinación de la situación.

12.6.2 Debería instalarse un sistema satelitario (GPS, GLONASS, o equivalente) en todos los buques que tengan previsto navegar por zonas situadas fuera del área de cobertura fiable de un sistema terrestre hiperbólico.

12.6.3 Los sistemas descritos en los párrafos 12.6.1 y 12.6.2 deberían proporcionar datos que permitan la representación continua de la velocidad del buque, mediante un dispositivo de medición de la velocidad y la distancia con arreglo a lo dispuesto en el párrafo 12.3, y del rumbo del buque, mediante un compás con arreglo a lo dispuesto en el párrafo 12.2.

12.6.4 Cuando los haya, los sistemas electrónicos de cartas náuticas deberían poder utilizar los datos con respecto a la situación que proporcionen los sistemas en cumplimiento de lo dispuesto en los párrafos 12.6.1 y 12.6.2.

12.7 Sistema de identificación automática (SIA)

Todos los buques deberían contar con un sistema de identificación automática (SIA).

12.8 Indicadores del ángulo de metida del timón

12.8.1 Los buques que tengan más de un timón de accionamiento independiente deberían estar provistos de indicadores independientes del ángulo de metida de cada timón.

12.8.2 Los buques que carezcan de timón deberían estar provistos de un indicador de la orientación del empuje direccional.

12.9 Projectores y señales visuales

12.9.1 Todos los buques que naveguen en aguas cubiertas de hielo deberían estar equipados, como mínimo, con dos proyectores apropiados, que deberían poder accionarse desde los puestos de órdenes de maniobra.

12.9.2 Los proyectores descritos en el párrafo 12.9.1 deberían estar instalados de modo que, en la medida de lo posible, ofrezcan una iluminación adecuada, en todas las direcciones, para atracar, ciar o efectuar un remolque de emergencia.

12.9.3 Los proyectores descritos en el párrafo 12.9.1 deberían estar equipados con un medio adecuado de descongelamiento a fin de que puedan orientarse adecuadamente.

12.9.4 Todos los buques que participen en una operación escoltada de más de un buque, siguiendo una vía de navegación abierta en los hielos, deberían estar equipados con una luz roja de destellos, de encendido manual, visible desde popa, que indique cuándo se detiene el buque, y que debería poder ponerse en funcionamiento desde cualquier puesto de órdenes de maniobra. La luz de destellos debería tener un alcance luminoso de al menos dos (2) millas marinas. El color y la frecuencia de la luz de destellos deberían ajustarse a las normas del Reglamento de Abordajes. Los sectores de visibilidad horizontal y vertical de la luz de destellos deberían ser los especificados para las luces de alcance en el Reglamento de Abordajes.

12.10 Medios para mejorar la visibilidad

12.10.1 Todos los buques deberían contar con medios apropiados para eliminar el hielo de un número suficiente de ventanas de los puestos de órdenes de maniobra a fin de que la visión a proa y a popa no quede obstaculizada.

12.10.2 Las ventanas a las que se hace referencia en el párrafo 12.10.1 deberían estar equipadas con medios eficaces para limpiar desde el exterior el hielo derretido, la lluvia congelante, la nieve, la niebla y los rociones, y desde el interior la condensación que se pueda acumular. Los mecanismos de los medios mecánicos utilizados para hacer desaparecer la humedad de la cara exterior de las ventanas deberían estar protegidos contra las heladas o la acumulación de hielo que pudiera impedir su correcto funcionamiento.

12.10.3 Todas las personas que participen en las maniobras del buque deberían disponer de protección adecuada contra el deslumbramiento por exposición directa al sol y su reverberación.

12.10.4 Todos los indicadores mediante los que se facilite información en los puestos de ordenes de maniobra deberían estar equipados con medios que permitan regular la iluminación de modo que la lectura de los mismos esté garantizada en todas las condiciones operacionales.¹²

12.11 Equipo de recepción de cartas meteorológicas y de hielos

12.11.1 Todos los buques deberían contar con equipo capaz de recibir cartas meteorológicas y cartas de hielos.

12.11.2 Todos los buques que naveguen en aguas polares deberían contar con equipo que pueda recibir y presentar visualmente imágenes de los hielos.

ANEXO 3: Relación emails

Final Degree Project >



eloy edo glosz <eloyedo@gmail.com>
per a AnnaMaria.Trofaier@UNIS.no ▾

ds., 2 de febr. 19:05 (fa 9 dies) ☆ ↩ ⋮

Dear Anna,

I am a Nautical and Maritime Transport student at the UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) in Barcelona. I am working on a project related on the monitoring of icebergs to analyze the viability of polar navigation.

As you are considered as an expert on this topic, I would like to know what your opinion is about whether these systems can make the North Sea maritime routes a valid alternative to the Suez Canal route in the future; which factors would need to be improved or changed for this to be possible and if you think that the inversion that this requires would be adequated to stop using the Suez Canal. Moreover, I would like to know if you think that SAR system is well-devoluped enough or if it would still need to be improved to guarantee safe and efficient navigation and make the North Sea routes a real alternative that would make the big naviers invest on it?

I look frowar to hearing from you soon.

Your sincerely,

Eloy Edo

Final Degree Project >

Safata d'entrada x



eloy edo glosz <eloyedo@gmail.com>
per a ola.johannessen ▾

ds., 2 de febr. 19:08 (fa 9 dies) ☆ ↩ ⋮

Dear Ola,

I am a Nautical and Maritime Transport student at the UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) in Barcelona. I am working on a project related on the monitoring of icebergs to analyze the viability of polar navigation.

As you are considered as an expert on this topic, I would like to know what your opinion is about whether these systems can make the North Sea maritime routes a valid alternative to the Suez Canal route in the future; which factors would need to be improved or changed for this to be possible and if you think that the inversion that this requires would be adequated to stop using the Suez Canal. Moreover, I would like to know if you think that SAR system is well-devoluped enough or if it would still need to be improved to guarantee safe and efficient navigation and make the North Sea routes a real alternative that would make the big naviers invest on it?

I look frowar to hearing from you soon.

Your sincerely,

...

Final Degree Project >



eloy edo glosz <eloyedo@gmail.com>

ds., 2 de febr. 19:13 (fa 9 dies)



per a cssalvo ▾

Dear Constanza,

I am a Nautical and Maritime Transport student at the UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) in Barcelona. I am working on a project related on the monitoring of icebergs to analyze the viability of polar navigation.

As you are considered as an expert on this topic, I would like to know what your opinion is about whether these systems can make the North Sea maritime routes a valid alternative to the Suez Canal route in the future; which factors would need to be improved or changed for this to be possible and if you think that the inversion that this requires would be adequate to stop using the Suez Canal. Moreover, I would like to know if you think that SAR system is well-developed enough or if it would still need to be improved to guarantee safe and efficient navigation and make the North Sea routes a real alternative that would make the big naviers invest on it?

I look forward to hearing from you soon.

Your sincerely,

Final Degree Project >



eloy edo glosz <eloyedo@gmail.com>

ds., 2 de febr. 19:17 (fa 9 dies)



per a Wolfgang.Dierking ▾

Dear,

I am a Nautical and Maritime Transport student at the UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) in Barcelona. I am working on a project related on the monitoring of icebergs to analyze the viability of polar navigation.

As you are considered as an expert on this topic, I would like to know what your opinion is about whether these systems can make the North Sea maritime routes a valid alternative to the Suez Canal route in the future; which factors would need to be improved or changed for this to be possible and if you think that the inversion that this requires would be adequate to stop using the Suez Canal. Moreover, I would like to know if you think that SAR system is well-developed enough or if it would still need to be improved to guarantee safe and efficient navigation and make the North Sea routes a real alternative that would make the big naviers invest on it?

I look forward to hearing from you soon.

Your sincerely,

Final Degree Project >



eloy edo glosz <eloyedo@gmail.com>
per a concepcionboo.arias@maersk.com ▼

ds., 2 de febr. 19:25 (fa 9 dies) ☆ ↩ ⋮

Dear Concepción,

I am a Nautical and Maritime Transport student at the UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) in Barcelona. I am working on a project related on the monitoring of icebergs to analyze the viability of polar navigation.

As a shipping company I would like to know if you believe that the polar navigation is a real option. Also I would like to ask you about the SAR system (Syntetic Aperture Radar). If is a tool that can make a viable option to start in a close future a regular comercial routes by the North Sea. If the savings that this would supouse is enough to remedy the investment that would have to carry out and finally know if your comapany already is conducting a study on the subject or is an option that has not taken into account.

I look frowar to hearing from you soon.

Your sincerely,

Eloy Edo

Final Degree Project >



eloy edo glosz <eloyedo@gmail.com>
per a giles.broom@msc.com ▼

ds., 2 de febr. 19:29 (fa 9 dies) ☆ ↩ ⋮

Dear Giles,

I am a Nautical and Maritime Transport student at the UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) in Barcelona. I am working on a project related on the monitoring of icebergs to analyze the viability of polar navigation.

As a shipping company I would like to know if you believe that the polar navigation is a real option. Also I would like to ask you about the SAR system (Syntetic Aperture Radar). If is a tool that can make a viable option to start in a close future a regular comercial routes by the North Sea. If the savings that this would supouse is enough to remedy the investment that would have to carry out and finally know if your comapany already is conducting a study on the subject or is an option that has not taken into account.

I look frowar to hearing from you soon.

Your sincerely,

Eloy Edo

